



Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear

Relatório DPRSN-A, nº30/06

Vigilância Radiológica a Nível Nacional
(Ano 2005)

Investigadores:

Maria José Madruga
Fernando Carvalho
Mário Reis
Nuno Pinhão
João Alves

Bolseiros:

Ana Rita Gomes
Ana Sofia Lemos
Eliana Oliveira
Filipa Rodrigues
Gonçalo Carvalhal
Heloísa Fonseca
Liliana Novais

Técnicos:

M. Manuela Sequeira
Graciete Ferrador
Adelaide Gameiro
João Maria Oliveira
Albertina Libânio
M. Amélia Pereira
Gabriel Silva

Avençados:

Irene Lopes
João Abrantes
Lídia Silva
Lubélia Machado

Julho 2006

Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear

Director: Carlos Oliveira
Endereço: Estrada Nacional 10, 2686-953 Sacavém, Portugal
Telefone: +351 - 21 9946000
Fax: +351 - 21 9941995
e-mail: dprsn.secretariado@itn.pt
Pág. web <http://www.itn.pt>

Ficha Técnica

Título	Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2005)
Autoria	<i>M.J. Madruga, F. Carvalho, M. Reis, N. Pinhão, J. Alves M.M. Sequeira, G. Ferrador, A. Gameiro, J.M. Oliveira, A. Libânio, A. Pereira, G. Silva I. Lopes, L. Silva, J. Abrantes, L. Machado A.R. Gomes, A.S. Lemos, E. Oliveira, F. Rodrigues, G. Carvalhal, H. Fonseca, L. Novais</i>
Edição	Instituto Tecnológico e Nuclear Dep. Protecção Radiológica e Segurança Nuclear
Tiragem	60 exemplares
ISBN	972-8660-31-6
Depósito Legal	194022/03
Data da Edição	Julho 2006

ÍNDICE

<i>Resumo</i>	1
<i>Abstract</i>	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. RADIOACTIVIDADE NA ATMOSFERA	9
2.1 Aerossóis	9
2.1.1 <i>Material e Métodos</i>	9
2.1.2 <i>Resultados e Discussão</i>	9
2.2 Deposição Atmosférica	12
2.2.1 <i>Material e Métodos</i>	12
2.2.2 <i>Resultados e Discussão</i>	13
3. RADIOACTIVIDADE NO MEIO AQUÁTICO	19
3.1 Rios	19
3.1.1 <i>Material e Métodos</i>	19
Águas	19
Sedimentos	19
Peixes	20
Plantas Aquáticas	20
3.1.2 <i>Resultados e Discussão</i>	20
Águas	20
Sedimentos	29
Peixes	30
Plantas Aquáticas	30
3.2 Mar	42
3.2.1 <i>Material e Métodos</i>	42
3.2.2 <i>Resultados e Discussão</i>	42
4. RADIOACTIVIDADE EM ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO	45
4.1 <i>Material e Métodos</i>	45
4.2 <i>Resultados e Discussão</i>	45
5. RADIOACTIVIDADE EM COMPONENTES DA CADEIA ALIMENTAR	55
5.1 <i>Material e Métodos</i>	55
Dieta Mista e Refeições Completas	55
Leite	55
5.2 <i>Resultados e Discussão</i>	56
Dieta Mista e Refeições Completas	56
Leite	62
6. RADIOACTIVIDADE EM SOLOS	66
6.1 <i>Material e Métodos</i>	66
6.2 <i>Resultados e Discussão</i>	66
7. AVALIAÇÃO DA DOSE DE RADIAÇÃO GAMA AMBIENTAL	73
7.1 <i>Material e Métodos</i>	73
7.2 <i>Resultados e Discussão</i>	74
8. CONCLUSÕES	78
AGRADECIMENTOS	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
ANEXO	82

Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2005)

Resumo

No âmbito do Artigo 35º do Tratado da EURATOM, o Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear (DPRSN) do Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN) vem realizando, desde há vários anos, a vigilância radiológica do ambiente a nível nacional. Em 2005, o programa de monitorização ambiental consistiu na determinação de radionuclídeos artificiais e naturais em compartimentos do ambiente (atmosfera, meio aquático e meio terrestre) considerados vias directas de contaminação para o Homem. Neste contexto, analisaram-se amostras de aerossóis e de água da chuva, amostras de águas de superfície, de sedimentos, de peixes e de plantas aquáticas, provenientes das principais bacias hidrográficas (rios Tejo, Zêzere, Guadiana, Mondego e Douro), amostras de águas de consumo, produtos alimentares, refeições completas, leite e solos. Realizaram-se também medições continuadas da dose de radiação gama ambiental com dosímetros integradores termoluminescentes. A actividade dos radionuclídeos artificiais e naturais foi determinada usando os métodos de medição por espectrometria gama, espectrometria alfa, medição alfa/beta total com contador proporcional e medição beta por cintilação líquida e cromatografia iónica. As concentrações medidas para os radionuclídeos de origem artificial (^{137}Cs , ^{90}Sr e ^3H) são muito baixas e, situam-se frequentemente, abaixo dos valores da actividade mínima detectável, com excepção do rio Tejo onde os valores em ^3H indicam contaminação radioactiva, mas pouco significativa sob o ponto de vista radiológico. Os resultados obtidos para os radionuclídeos de origem natural (^{40}K e elementos das séries radioactivas do Urânio e Tório) são da ordem de grandeza do fundo radioactivo natural. Pode concluir-se que a população portuguesa residente não esteve exposta a níveis de radioactividade significativamente mais elevados do que o do fundo radioactivo natural, não sendo necessário recomendar qualquer medida de protecção radiológica.

Palavras Chave: vigilância radiológica, atmosfera, meio aquático, meio terrestre

Abstract

Under Article 35 of the EURATOM Treaty, Portugal has an obligation to conduct a national environmental radiological survey every year. The ITN's Department of Radiological Protection and Nuclear Safety (DPRSN) has been responsible for carrying out this survey since several years. In 2005, the environmental monitoring programme consisted of measuring artificial and natural radionuclides in environmental compartments (atmospheric, aquatic and terrestrial environments) considered as direct pathways of contamination to humans. Samples of aerosols, rainwater, surface water, sediments, fish, aquatic plants, drinking water, mixed diet, complete meals, milk and soils were analysed. Integrated measurements of the ambient dose equivalent with thermoluminescent dosimeters were also performed.

The activity of the artificial and natural radionuclides was determined using gamma spectrometry, alpha spectrometry, alpha/beta measurements with proportional counter beta measurement by liquid scintillation and ion chromatography. Results show that the concentrations of the artificial radionuclides (^{137}Cs , ^{90}Sr and ^3H) are, in general very low and, in most cases, below the minimum detectable activity, with exception of samples from the Tejo river, where the tritium values show radioactive contamination with low significance. The results for natural radioactivity (^{40}K , Uranium and Thorium radioactive series) are of the same order as the magnitude of the radioactive background. It can be conclude that the Portuguese population has not been exposed to radioactivity levels higher than the natural radioactive background. Therefore, there is no need to recommend any radiological protection measure.

Key Words: radiological assessment, atmosphere, aquatic environment, terrestrial environment

1. INTRODUÇÃO

O Artigo 35º do Tratado da EURATOM estabelece que os Estados-Membros “.....providenciarão pela criação das instalações necessárias para efectuar o controlo permanente do grau de radioactividade da atmosfera, das águas e do solo, bem como o controlo do cumprimento das normas de base...” e, nos termos do Artigo 36º, “ as informações relativas aos controlos referidos no Artigo 35º serão comunicadas regularmente pelas autoridades competentes à Comissão, a fim de que esta seja mantida ao corrente do grau de radioactividade susceptível de exercer influência sobre a população”.

Após o acidente de Chernobyl, houve um incremento no controlo da radioactividade no ambiente, nos diferentes Estados membros da União Europeia, do que resultou um número muito elevado de medidas. A necessidade de interpretação desses valores conduziu à criação, pela Comissão Europeia, de uma base de dados ambiental, denominada “Radioactivity Environmental Monitoring (REM)” que está sediada no Instituto do Ambiente do EC Joint Research Centre (JRC) em Ispra (Itália). No âmbito do Artigo 36º, cada Estado membro, deverá comunicar anualmente para o JRC, utilizando o programa informático EASYPROTEO, os resultados do seu programa de monitorização ambiental. Esses dados são inseridos na base de dados (REM) e posteriormente publicados como relatórios da Comissão Europeia (EUR 19929 EN, 2001 & EUR 20765 EN, 2005).

A entidade nacional responsável pelo cumprimento dos Artigos 35º e 36º tem sido o Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN) através do Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear (DPRSN). A legislação nacional, nomeadamente o Dec-Lei 165/2002 de 17 de Julho Artº 14, alínea b) estabelece que compete ao ITN realizar as medições das concentrações de radionuclidos no ambiente. O Dec-Lei 138/2005 de 17 de Agosto reafirma essa competência. Na verdade o DPRSN pôs em marcha, desde há vários anos, um programa de vigilância radiológica ambiental em Portugal.

O programa de monitorização ambiental de radioactividade consiste basicamente na medição contínua e periódica de radionuclidos críticos existentes nos componentes ambientais (ar, água, alimentos, solos, etc.). Estes componentes são considerados as vias directas de transferência nos vários meios, atmosfera, aquático e terrestre e em última análise, na transferência da contaminação radioactiva para o Homem. Este programa foi estruturado dando cumprimento às recomendações da Comissão (COM/473/EURATOM, 2000), que especifica o tipo de amostras, procedimentos e medições para a avaliação da contaminação radioactiva, de modo a assegurar o acompanhamento da exposição efectiva da população portuguesa à radioactividade. O programa foi alargado nos últimos anos, no que se refere aos

locais de amostragem e ao tipo de amostras a analisar, superando em alguns casos as recomendações da Comissão. A extensão do programa teve em consideração as especificidades do país. Apresentam-se, em seguida, alguns exemplos.

Devido à existência de centrais nucleares nas proximidades do rio Tejo em Espanha, definiu-se para este rio, um programa de monitorização mais detalhado, que inclui um maior número de locais e maior frequência de amostragem, outros tipos de amostras (sedimentos, peixes, plantas aquáticas) e de análises. Os locais de amostragem para o leite e para a dieta mista foram seleccionados, de modo a abrangerem todo país, com alguns locais específicos, em pontos mais críticos, designadamente junto à fronteira com Espanha, onde está localizada a Central Nuclear de Almaraz. Com o objectivo de se monitorizar a radioactividade na costa marítima portuguesa definiu-se também um plano de amostragem que inclui análises de amostras recolhidas em vários locais ao longo da costa.

Este sistema de monitorização ambiental da radioactividade inclui a amostragem e a determinação da concentração de radionuclidos na atmosfera (aerossóis e deposição atmosférica), no meio aquático (principais bacias hidrográficas e costa Atlântica), em águas para consumo humano, em componentes da cadeia alimentar (carne, peixe, vegetal, fruta, tubérculo, leite, etc.) e em solos. Procedeu-se também à avaliação da dose de radiação gama ambiental. Na Figura 1 estão representados os locais de amostragem e o tipo de amostras.

A radioactividade existente na atmosfera pode ter origem natural ou artificial e resulta, basicamente, de três fontes principais: i) exalação para a atmosfera de ^{222}Rn e ^{220}Rn , formados através da desintegração radioactiva do ^{226}Ra e do ^{224}Ra (constituintes naturais de solos e rochas) pertencentes às séries radioactivas naturais do Urânio e do Tório, respectivamente. Um bom exemplo é o da ocorrência do ^{210}Pb , descendente de longo período de semi-desintegração do ^{222}Rn ; ii) formação de radionuclidos cosmogénicos, como por exemplo o ^7Be , através da interacção da radiação cósmica com gases atmosféricos como o carbono, o azoto e o oxigénio; iii) radionuclidos artificiais, produtos de cisão e activação, resultantes de actividades antropogénicas (testes nucleares, produção de energia eléctrica por via nuclear, produção de radioisótopos e acidentes). O radionuclido artificial ^{137}Cs , devido ao seu longo período de semi-desintegração, constitui um bom indicador de eventual contaminação radioactiva.

Independentemente da sua origem, os isótopos radioactivos podem ocorrer na atmosfera na forma gasosa ou particulada (associados ao aerossol atmosférico). Em geral, a forma particulada é a que assume maior significado no âmbito da protecção contra radiações, uma vez que essas partículas participam nos processos de transporte e deposição atmosférica, interagindo com a biosfera.

A radioactividade em águas superficiais pode ser devida aos radionuclidos dissolvidos na fase aquosa e/ou aos radionuclidos adsorvidos nas partículas em suspensão podendo eventualmente ser incorporada nos sedimentos e nos organismos vivos. Sendo as águas de superfície um dos meios onde é normalmente autorizada a descarga de efluentes radioactivos provenientes de instalações nucleares, poder-se-ão detectar, além dos radionuclidos de origem natural, como o ^{226}Ra , o ^{222}Rn e descendentes e o ^3H (sendo o ^3H normalmente de origem antropogénica) e ainda os radionuclidos artificiais ^{137}Cs e ^{90}Sr . Estes radionuclidos são produtos de cisão formados durante o funcionamento de uma central nuclear que podem ser libertados para o ambiente após um acidente, ou após explosões nucleares.

A avaliação da radioactividade em água para consumo humano é muito importante por esta constituir um bem vital para o Homem, podendo a ingestão de água vir a tornar-se uma via crítica, após um acidente nuclear e/ou em regiões de elevado fundo radiológico. Os radionuclidos naturais presentes nas águas para consumo humano são o ^3H , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{222}Rn e descendentes, com actividades bastante variáveis. Ocasionalmente, a presença de ^3H , ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^{226}Ra poderá ser devida à actividade humana (centros nucleares, actividade mineira, etc.). A determinação da radioactividade em água para consumo humano pode ser efectuada através das medições alfa e beta totais, as quais dão uma indicação dos níveis globais de actividade devida aos radionuclidos naturais e artificiais emissores alfa e beta e/ou através da análise de radionuclidos específicos. O objectivo deste programa é o de analisar águas das redes de abastecimento de vários aglomerados populacionais, de forma a abranger globalmente o país.

A avaliação da radioactividade no meio marinho foi efectuada através da análise de radionuclidos de origem natural (séries radioactivas do Urânio, Tório e Actínio e o ^{40}K) e artificial (principalmente ^{137}Cs , ^{238}Pu e $^{239+240}\text{Pu}$ resultantes das explosões nucleares) em bivalves (mexilhões) e plantas aquáticas (algas) considerados indicadores biológicos de contaminação radioactiva.

O consumo de leite e derivados constitui uma das vias mais importantes de transferência dos radionuclidos do ambiente para o Homem. O seu controlo dá uma indicação imediata da contaminação radioactiva das pastagens, originada pelas deposições atmosféricas. Em caso de contaminação os radionuclidos artificiais normalmente detectados são o ^{131}I , ^{137}Cs e ^{90}Sr . O ^{40}K sendo um radionuclido de origem natural está também presente no leite. O ^{131}I é um radionuclido de origem artificial que poderá ser libertado para o ambiente devido ao mau funcionamento de uma instalação nuclear ou após um acidente nuclear.

A avaliação do nível de radioactividade na dieta mista dá uma indicação da potencial contaminação radioactiva do Homem através da cadeia alimentar. Essa avaliação poderá ser feita através da análise dos alimentos individualizados ou de refeições completas.

Nas Figuras 2 e 3 estão representados graficamente o tipo de amostras e de análises e as respectivas percentagens referentes ao ano de 2005.

Neste relatório apresentam-se os resultados de monitorização da radioactividade em Portugal, nos diferentes compartimentos ambientais.

Os resultados são apresentados com uma incerteza de 95% (2σ) para a medição de actividade por espectrometria gama e alfa e com uma incerteza de 68% (1σ) para a medição alfa/beta total com contadores proporcionais e medição beta por cintilação líquida. Quando os valores obtidos para um dado radionuclido ou para as contagens totais (alfa/beta) são suficientemente baixos em comparação com o valor do fundo, de forma a não permitirem uma identificação inequívoca (i.e. com um grau de confiança de 95%), é indicado como seu majorante o valor da actividade mínima detectável (AMD). Este valor (AMD) depende do valor de fundo, das condições de contagem (tempo de contagem, matriz e geometria da amostra) e do rendimento químico da análise.

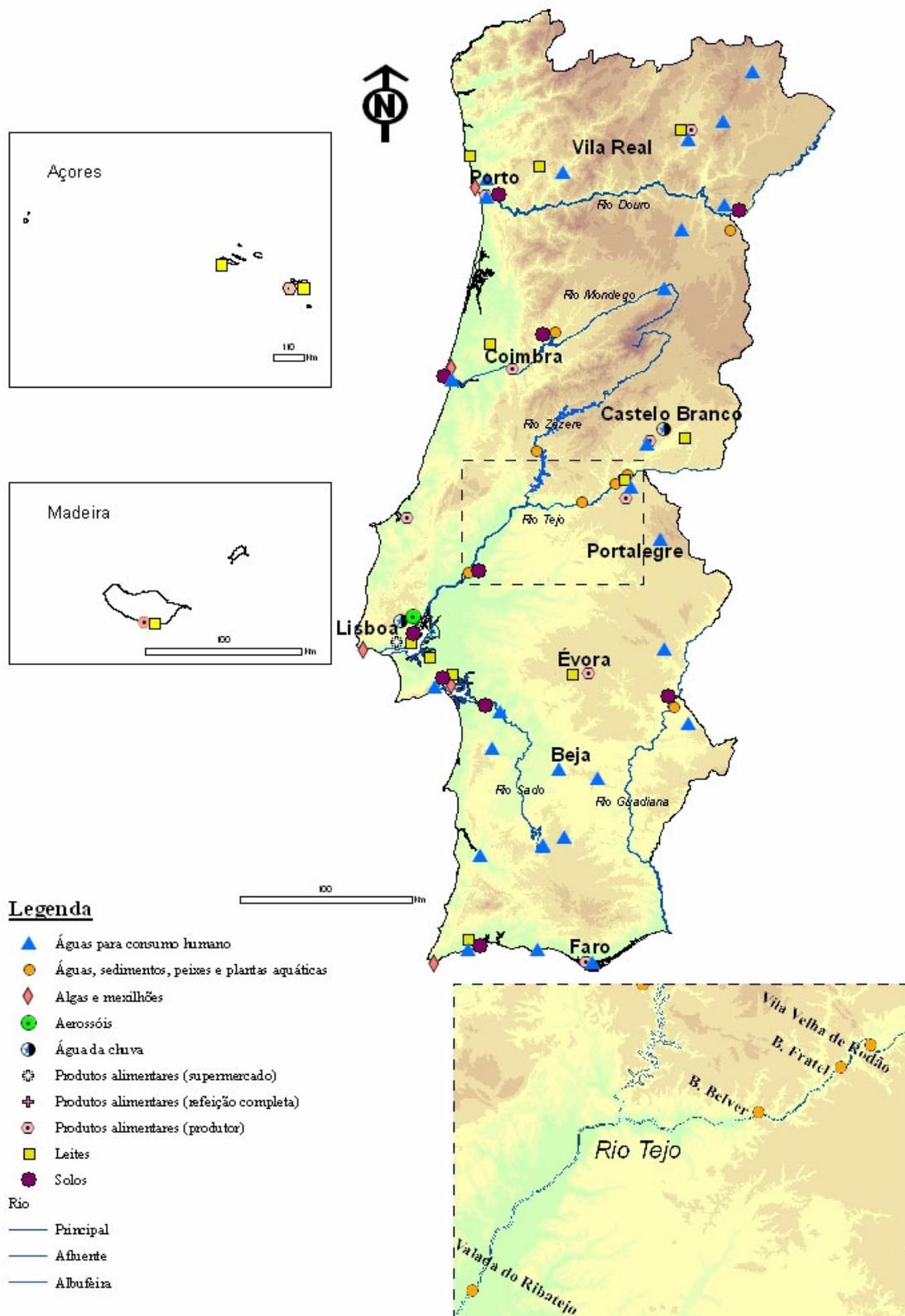


Figura 1 – Locais de amostragem e tipo de amostras analisadas no programa de monitorização ambiental da radioactividade

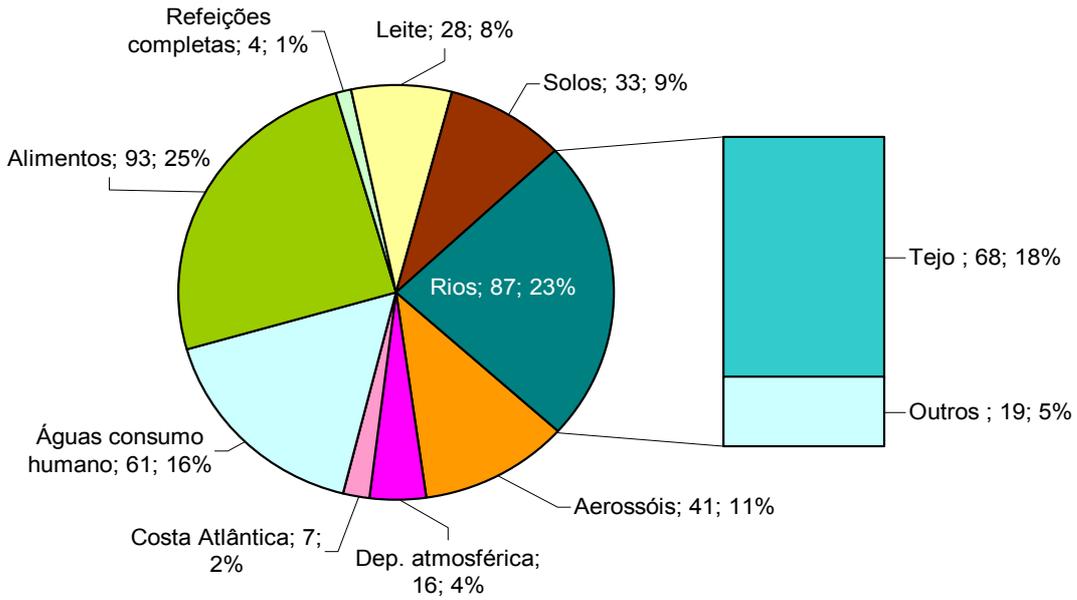


Figura 2- Tipo, número de amostras analisadas e respectiva percentagem

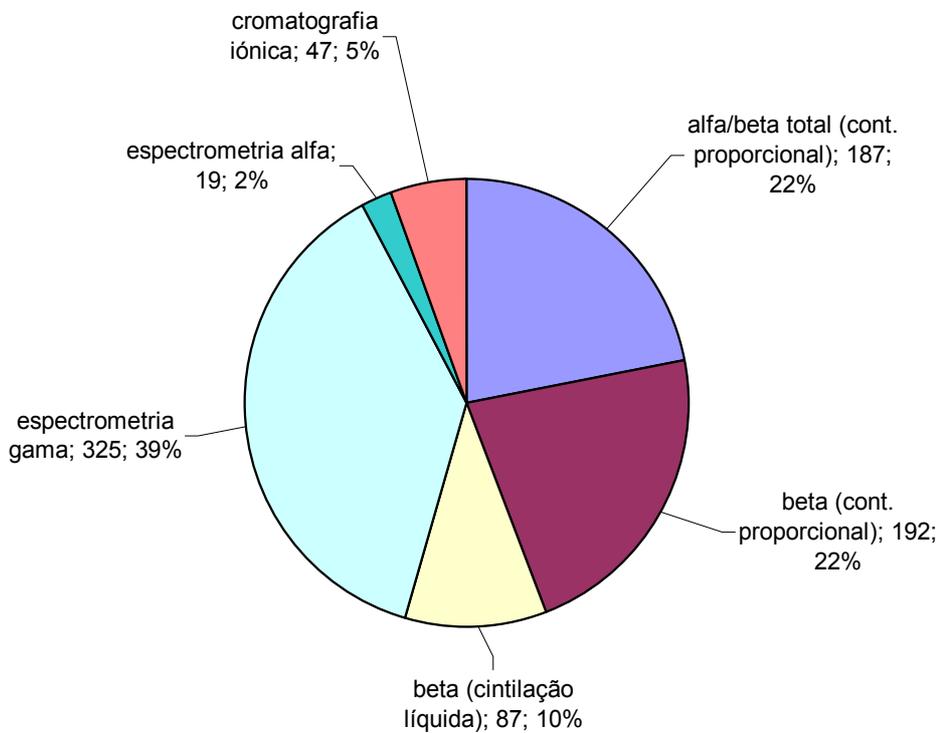


Figura 3 -Número de análises e respectiva percentagem por técnica de medição

2. RADIOACTIVIDADE NA ATMOSFERA

2.1. Aerossóis

2.1.1. Material e Métodos

A avaliação da radioatividade atmosférica no ar de superfície foi efectuada através da amostragem contínua de aerossol, recorrendo a uma estação fixa do tipo ASS-500, instalada no *campus* do ITN em Sacavém (Figura 1). A estação está equipada com uma bomba de sucção de alto volume, com uma cabeça de aspiração de grandes dimensões e um medidor contínuo de fluxo, com totalizador de volume de ar filtrado. Os períodos de amostragem têm a duração de uma semana, o que corresponde, em geral, a volumes médios de ar filtrado de 10^5 m³/semana. Como substrato de recolha são utilizados filtros de polipropileno tipo G-3, de 44×44 cm².

Após cada período de amostragem, os filtros são incinerados a 450°C durante 24 horas, sendo a amostra resultante analisada por espectrometria gama em detector de poço de Ge hiperpuro (modelo Canberra GCW2522). O referido detector tem um volume activo de 140 cm³ e uma resolução de 1,08 keV na energia de 122 keV e 1,83 keV na energia de 1333 keV. Os espectros resultantes são analisados com o *software* Genie 2000 (Canberra). O sistema foi calibrado com fontes padrão da Analytics, contendo uma mistura de radionuclídeos (²¹⁰Pb, ²⁴¹Am, ¹⁰⁹Cd, ⁵⁷Co, ⁵¹Cr, ¹¹³Sn, ⁸⁵Sr, ¹³⁷Cs, ⁸⁸Y, ⁶⁰Co) que abrange toda a gama de energias de interesse. As fontes têm geometrias idênticas às das amostras a analisar.

2.1.2. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 apresentam-se os valores de concentração médios mensais e anuais para os radionuclídeos detectados em aerossóis e ainda as concentrações médias mensais de partículas totais em suspensão. Na Figura 4 representam-se graficamente esses valores.

A concentração de actividade média mensal de partículas totais em suspensão (PTS) variou entre 17 µg m⁻³ (em Abril) e 66 µg m⁻³ (em Janeiro).

A concentração de actividade média mensal em ⁷Be, variou entre 2,7±0,2 e 3,9±0,1 mBq m⁻³, com um valor médio anual de 3,2±0,3 mBq m⁻³, característico das latitudes médias. A concentração de actividade média medida em Sacavém encontra-se dentro da gama de valores referidos por outros autores para diferentes locais (C. Dueñas *et al.*, 2003; P. Bouisset *et al.*, 2004; J.S. Gaffney *et al.*, 2004; F. Cannizzaro *et al.*, 2004; D. Todorovic *et al.*, 2005; Calvo *et al.*, 2005). Os valores mantiveram-se praticamente constantes ao longo do ano, não sendo perceptível a tendência sazonal verificada em anos anteriores (com valores mais elevados durante a Primavera e Verão). A concentração de actividade média em ⁷Be registada no mês de Dezembro (2,7±0,2 mBq m⁻³) desceu para os níveis normais para esta época do ano, comparativamente ao valor obtido em Dezembro de 2004 (7,2±0,2 mBq m⁻³), o que se

deve ao facto da precipitação em Novembro e Dezembro de 2005 ter aumentado (105 mm e 57 mm, respectivamente) relativamente aos correspondentes meses de 2004 (26 mm).

A concentração de actividade em ^{137}Cs foi sempre inferior à actividade mínima detectável ($0,8 \mu\text{Bq m}^{-3}$), à excepção do mês de Agosto, em que se registou um valor de $1,2 \pm 0,3 \mu\text{Bq m}^{-3}$.

Relativamente ao ^{210}Pb a sua concentração de actividade média mensal variou entre $0,19 \pm 0,02 \text{ mBq m}^{-3}$ e $0,69 \pm 0,02 \text{ mBq m}^{-3}$, com um valor médio anual de $0,4 \pm 0,2 \text{ mBq m}^{-3}$.

Com base nas recomendações da Comissão Internacional de Protecção Radiológica (ICRP, 1996), aplicáveis a membros do público cujo modo de vida, hábitos alimentares e metabolismo correspondem a uma população média, estimou-se a dose de radiação devida à inalação de ^{137}Cs durante o ano de 2005. Considerou-se o valor de concentração de actividade em ^{137}Cs de $0,8 \mu\text{Bq m}^{-3}$ (actividade mínima detectável) e o respectivo factor de dose $4,6 \times 10^{-9} \text{ Sv Bq}^{-1}$ (Basic Safety Standards, 1996; ICRP, 1996) aplicável a um adulto médio para a categoria de membro do público. Considerou-se ainda, uma taxa de respiração média de $8030 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ (EUR 19929 EN, 2001 & EUR 20765 EN, 2005). O valor de dose estimado devido à inalação do ^{137}Cs é de $0,03 \times 10^{-3} \mu\text{Sv a}^{-1}$. Este valor, que pela metodologia seguida está sobrestimado, é idêntico ao obtido em anos anteriores usando a mesma metodologia (Madruga *et al*, 2003, 2004 & 2005).

Tabela 1- Valores de concentração de actividade (médias mensais $\pm 2\sigma$) em aerossóis recolhidos no *campus* do ITN em Sacavém. PTS é a concentração média mensal das partículas totais em suspensão

Data de colheita	^7Be (mBq m ⁻³)	^{137}Cs ($\mu\text{Bq m}^{-3}$)	^{210}Pb (mBq m ⁻³)	PTS ($\mu\text{g m}^{-3}$)
Janeiro	3,3 \pm 0,1	< 0,8 (a)	0,69 \pm 0,02	66
Fevereiro	3,9 \pm 0,1	< 0,8 (a)	0,64 \pm 0,02	52
Março	(b)	(b)	(b)	(b)
Abril	3,0 \pm 0,2	< 0,8 (a)	0,19 \pm 0,02	17
Mai	3,1 \pm 0,2	< 0,8 (a)	0,19 \pm 0,02	25
Junho	3,4 \pm 0,2	< 0,8 (a)	0,39 \pm 0,03	33
Julho	3,4 \pm 0,2	< 0,8 (a)	0,33 \pm 0,03	44
Agosto	3,5 \pm 0,2	1,2 \pm 0,3	0,44 \pm 0,04	54
Setembro	3,0 \pm 0,2	< 0,8 (a)	0,33 \pm 0,02	41
Outubro	3,5 \pm 0,2	< 0,8 (a)	0,52 \pm 0,04	41
Novembro	3,0 \pm 0,2	< 0,8 (a)	0,34 \pm 0,02	21
Dezembro	2,7 \pm 0,2	< 0,8 (a)	0,33 \pm 0,02	22
Média $\pm \sigma$ (n=11)	3,2 \pm 0,3	-	0,40 \pm 0,16	38 \pm 16

(a) - Actividade mínima detectável em ^{137}Cs . Este valor depende das condições de medição;
 (b) - Não houve recolha de amostras por avaria do amostrador;

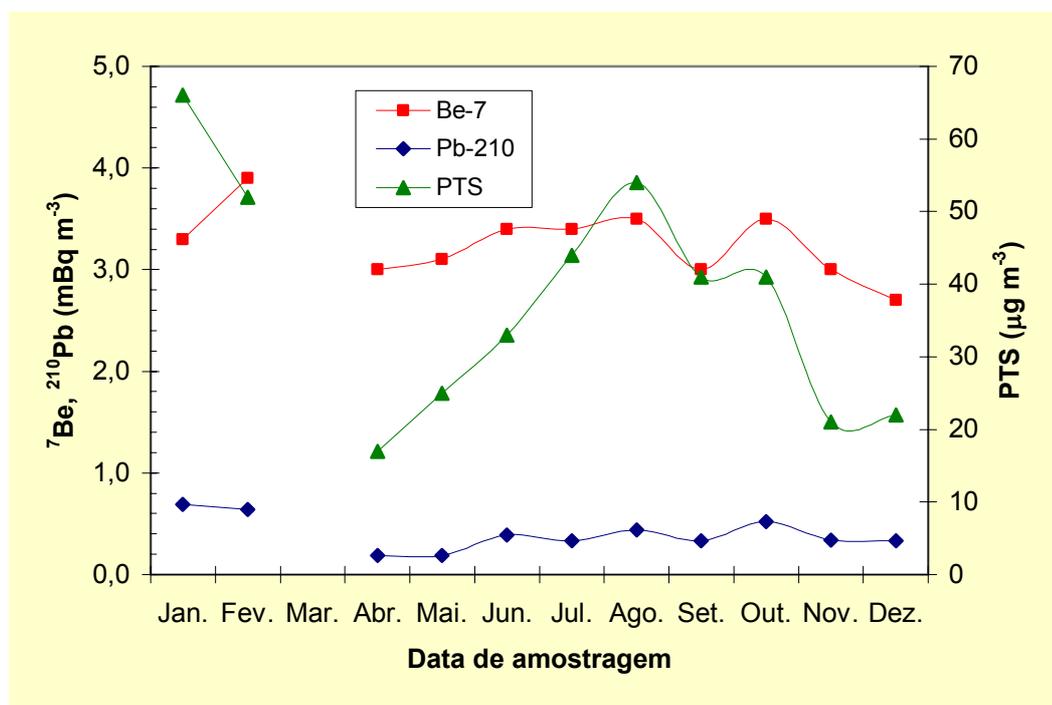


Figura 4- Evolução da concentração de actividade em ^7Be e ^{210}Pb (mBq m⁻³) e da concentração de partículas em suspensão ($\mu\text{g m}^{-3}$) em aerossóis recolhidos no *campus* do ITN em Sacavém

2.2. Deposição Atmosférica

2.2.1. Material e Métodos

As amostras de água da chuva, correspondentes a um período de amostragem de 30 dias, foram recolhidas na Estação Meteorológica de Castelo Branco e no *campus* do ITN, em Sacavém. O dispositivo de recolha da amostra é constituído por um colector de deposição atmosférica total, em tronco de pirâmide quadrangular, com 1 m² de secção.

Da amostra recolhida, 1 litro é utilizado para a determinação do trítio (³H), 1 litro para a determinação da actividade beta total na matéria em suspensão ($\varnothing > 0,45\mu\text{m}$) e na água filtrada ($\varnothing \leq 0,45\mu\text{m}$) e, num máximo de 30 litros concentrados a 1 litro (por evaporação em placa eléctrica) para a determinação dos radionuclídeos emissores gama e, posteriormente para a determinação da concentração em ¹³⁷Cs e ⁹⁰Sr por medição beta.

Para a análise por espectrometria gama foi usada a geometria “Marinelli” e detectores de germânio hiperpuro (GeHp), acoplados a sistemas de aquisição de dados Multiport II (Canberra). Os dados foram processados usando o *software* Genie 2000 (Canberra). Os sistemas foram calibrados com fontes padrão da Analytcs, contendo uma mistura de radionuclídeos (²¹⁰Pb, ²⁴¹Am, ¹⁰⁹Cd, ⁵⁷Co, ⁵¹Cr, ¹¹³Sn, ⁸⁵Sr, ¹³⁷Cs, ⁸⁸Y, ⁶⁰Co) que abrange toda a gama de energias de interesse. As fontes foram preparadas com geometrias idênticas às das amostras a analisar.

A técnica seguida para a medição beta foi a da Norma Portuguesa NP 4330 (1996). Para a medição da actividade beta total das amostras utilizou-se um contador proporcional de fluxo gasoso α/β (TENNELEC, Canberra), previamente calibrado com padrões beta (⁴⁰K).

A determinação da radioactividade em ³H, ⁹⁰Sr e ¹³⁷Cs foi efectuada recorrendo a análises específicas.

A metodologia seguida para a determinação da radioactividade devida ao ³H esteve de acordo com a Norma Portuguesa NP 4362 (1997), com enriquecimento isotópico. Partindo de 1 litro de água, não acidificada, procedeu-se a uma purificação, por destilação, e ao enriquecimento isotópico, por electrólise em corrente contínua, seguido de nova destilação, sendo as amostras posteriormente medidas num espectrómetro de cintilação líquida (LS 6500, Beckman).

Para o ⁹⁰Sr e ¹³⁷Cs foram utilizadas técnicas radioquímicas baseadas em separações e purificações sucessivas, fixando-se o ⁹⁰Sr numa resina específica da EICHRON e o ¹³⁷Cs em fosfomolibdato de amónio. As amostras foram medidas no sistema de detecção beta de baixo fundo utilizando detectores proporcionais de fluxo (HT1000, Canberra) devidamente calibrados para cada um destes isótopos com fontes padrão, preparadas na mesma forma química e com a mesma geometria das amostras a analisar.

2.2.2. Resultados e Discussão

Nas Tabelas 2 e 3 apresentam-se os valores da actividade específica, A , dos diferentes radionuclidos analisados em amostras de água da chuva recolhidas em Sacavém (*campus* do ITN) e em Castelo Branco (estação meteorológica da rede de estações do Instituto de Meteorologia).

Nas Tabelas 4 e 5 apresentam-se os fluxos mensais de deposição atmosférica para Sacavém e Castelo Branco, respectivamente. Os fluxos mensais foram calculados multiplicando a actividade específica em Bq L^{-1} pela precipitação em mm (volume mensal recolhido) e correspondem a valores de deposição total (por via húmida e seca), uma vez que os colectores se encontram expostos durante todo o período de amostragem, mesmo na ausência de precipitação. Nas Figuras 5 e 6 estão representados graficamente os valores dos fluxos mensais de deposição atmosférica em ${}^7\text{Be}$ e beta total e os valores de precipitação em Sacavém e em Castelo Branco, respectivamente.

Pode-se observar que os fluxos mensais de deposição em ${}^7\text{Be}$, na estação de Sacavém, seguem a evolução da precipitação ao longo do ano. É de referir que, contrariamente ao ${}^7\text{Be}$, não ocorreu deposição de actividade beta total nos meses mais pluviosos (Outubro, Novembro e Dezembro). Relativamente à estação de Castelo Branco, os fluxos de deposição são muito baixos ao longo de todo o ano, à excepção do fluxo de deposição em ${}^7\text{Be}$ registado no mês de Novembro (162 Bq m^{-2}), o que se deve à maior precipitação durante esse mês (164 mm).

A deposição acumulada ao longo do ano de 2005 é ainda mais baixa que a verificada no ano de 2004 para ambas as estações, à excepção do ${}^7\text{Be}$ na estação de Castelo Branco (168 Bq m^{-2} , comparativamente ao valor de 59 Bq m^{-2} obtido em 2004), valor para o qual contribui largamente a deposição ocorrida no mês de Novembro. Os baixos valores de deposição obtidos para o ano de 2005 são um reflexo da fraca precipitação acumulada ao longo do ano (395 mm para Sacavém e 441 mm para Castelo Branco).

Tabela 2 - Valores de actividade específica, A (Bq L^{-1}), de radionuclidos artificiais e naturais em água da chuva colhida em Sacavém (ITN). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para o ${}^7\text{Be}$ e de 68% (1σ) para os restantes radionuclidos e actividade beta total

Data de Colheita	${}^3\text{H}$	Água filtrada $\varnothing \leq 0,45 \mu\text{m}$				Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45 \mu\text{m}$
		${}^7\text{Be}$	${}^{90}\text{Sr}$	${}^{137}\text{Cs}$	Beta total	Beta total
Janeiro	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
Fevereiro	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
Março	$1,8 \pm 0,6$	$0,06 \pm 0,01$	$< 0,7 \times 10^{-3}$ (d)	$< 0,7 \times 10^{-3}$ (e)	$0,014 \pm 0,005$	$< 0,010$ (g)
Abril	$4,0 \pm 0,6$	$< 0,05$ (f)	$(0,5 \pm 0,3) \times 10^{-3}$	$< 0,7 \times 10^{-3}$ (e)	$0,013 \pm 0,004$	$0,077 \pm 0,006$
Maio	$< 0,80$ (c)	$< 0,14$ (f)	$(1,3 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$(1,7 \pm 0,9) \times 10^{-3}$	$0,036 \pm 0,005$	$0,075 \pm 0,006$
Junho	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
Julho	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
Agosto	$1,9 \pm 0,6$	(b)	(b)	(b)	$0,070 \pm 0,006$	$< 0,010$ (g)
Setembro	$< 0,80$ (c)	(b)	(b)	(b)	$0,022 \pm 0,005$	$< 0,010$ (g)
Outubro	$< 0,80$ (c)	$0,06 \pm 0,02$	$< 0,5 \times 10^{-3}$ (d)	$(0,9 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$< 0,010$ (g)	$0,021 \pm 0,007$
Novembro	$1,2 \pm 0,8$	$0,14 \pm 0,02$	$(5,5 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$(1,4 \pm 0,8) \times 10^{-3}$	$< 0,010$ (g)	$0,015 \pm 0,007$
Dezembro	$1,0 \pm 0,7$	$0,14 \pm 0,02$	$(0,9 \pm 0,7) \times 10^{-3}$	$< 0,3 \times 10^{-3}$ (e)	$0,011 \pm 0,004$	$0,035 \pm 0,007$

- (a) Não houve precipitação;
 (b) Volume de amostra insuficiente para as análises de ${}^7\text{Be}$, ${}^{90}\text{Sr}$ e ${}^{137}\text{Cs}$;
 (c) Actividade mínima detectável em ${}^3\text{H}$;
 (d) Actividade mínima detectável em ${}^{90}\text{Sr}$;
 (e) Actividade mínima detectável em ${}^{137}\text{Cs}$;
 (f) Actividade mínima detectável em ${}^7\text{Be}$. Este valor depende das condições de medição;
 (g) Actividade mínima detectável na actividade beta total;

Tabela 3 - Valores de actividade específica, A (Bq L^{-1}), de radionuclidos artificiais e naturais em água da chuva colhida em Castelo Branco (estação meteorológica). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para o ${}^7\text{Be}$ e de 68% (1σ) para os restantes radionuclidos e actividade beta total

Data de Colheita	${}^3\text{H}$	Água filtrada $\varnothing \leq 0,45 \mu\text{m}$				Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45 \mu\text{m}$
		${}^7\text{Be}$	${}^{90}\text{Sr}$	${}^{137}\text{Cs}$	Beta total	Beta total
Janeiro	< 0,80 (c)	(b)	(b)	(b)	$0,048 \pm 0,006$	$0,019 \pm 0,009$
Fevereiro	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
Março	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
Abril	< 0,80 (c)	< 0,07 (f)	$(4,2 \pm 0,7) \times 10^{-3}$	< $0,9 \times 10^{-3}$ (e)	$0,017 \pm 0,004$	$0,081 \pm 0,006$
Maiο	$3,3 \pm 0,6$	$0,09 \pm 0,01$	< $0,6 \times 10^{-3}$ (d)	$(4,7 \pm 1,0) \times 10^{-3}$	$0,014 \pm 0,004$	$0,090 \pm 0,007$
Junho	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
Julho	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
Agosto	$1,1 \pm 0,6$	< 0,13 (f)	(b)	(b)	$0,027 \pm 0,005$	< 0,010 (g)
Setembro	< 0,80 (c)	< 0,28 (f)	(b)	(b)	$0,021 \pm 0,005$	$0,024 \pm 0,007$
Outubro	< 0,80 (c)	< 0,05 (f)	< $0,4 \times 10^{-3}$ (d)	< $0,7 \times 10^{-3}$ (e)	$0,022 \pm 0,005$	$0,039 \pm 0,007$
Novembro	$3,4 \pm 0,8$	$0,99 \pm 0,09$	< $0,4 \times 10^{-3}$ (d)	< $0,5 \times 10^{-3}$ (e)	$0,011 \pm 0,004$	$0,013 \pm 0,007$
Dezembro	$1,0 \pm 0,8$	$0,04 \pm 0,01$	$(0,9 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	< $0,5 \times 10^{-3}$ (e)	$0,090 \pm 0,007$	$0,030 \pm 0,007$

- (a) Não houve precipitação;
 (b) Volume de amostra insuficiente para as análises de ${}^7\text{Be}$, ${}^{90}\text{Sr}$ e ${}^{137}\text{Cs}$;
 (c) Actividade mínima detectável em ${}^3\text{H}$;
 (d) Actividade mínima detectável em ${}^{90}\text{Sr}$;
 (e) Actividade mínima detectável em ${}^{137}\text{Cs}$;
 (f) Actividade mínima detectável em ${}^7\text{Be}$. Este valor depende das condições de medição;
 (g) Actividade mínima detectável na actividade beta total;

Tabela 4 – Fluxos mensais de deposição atmosférica ($Bq\ m^{-2}$) em Sacavém (ITN). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para o 7Be e de 68% (1σ) para os restantes radionuclídeos e actividade beta total

Data de colheita	Precipitação (mm)*	3H	Água filtrada $\varnothing \leq 0,45\ \mu m$				Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45\ \mu m$
			7Be	^{90}Sr	^{137}Cs	Beta total	Beta total
Janeiro	0	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)
Fevereiro	6	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Março	33	58 ± 21	$2,0 \pm 0,3$	(a)	(a)	$0,5 \pm 0,2$	(a)
Abril	38	150 ± 23	(a)	$0,02 \pm 0,01$	(a)	$0,5 \pm 0,2$	$2,9 \pm 0,2$
Mai	17	(a)	(a)	$0,02 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,02$	$0,61 \pm 0,08$	$1,3 \pm 0,1$
Junho	0	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)
Julho	5	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Agosto	3	6 ± 2	(b)	(b)	(b)	$0,21 \pm 0,02$	(a)
Setembro	5	(a)	(b)	(b)	(b)	$0,11 \pm 0,02$	(a)
Outubro	126	(a)	8 ± 2	(a)	$0,12 \pm 0,08$	(a)	$2,6 \pm 0,9$
Novembro	105	128 ± 87	15 ± 2	$0,57 \pm 0,06$	$0,15 \pm 0,08$	(a)	$1,6 \pm 0,7$
Dezembro	57	58 ± 42	8 ± 1	$0,05 \pm 0,04$	(a)	$0,6 \pm 0,2$	$2,0 \pm 0,4$

(a) Actividade medida na água da chuva inferior à actividade mínima detectável;

(b) Volume de amostra insuficiente para análise;

(c) Não houve precipitação;

* Dados obtidos no Instituto de Meteorologia;

Tabela 5 – Fluxos mensais de deposição atmosférica (Bq m^{-2}) em Castelo Branco (estação meteorológica). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para o ^7Be e de 68% (1σ) para os restantes radionuclidos e actividade beta total

Data de colheita	Precipitação (mm)*	^3H	Água filtrada $\varnothing \leq 0,45 \mu\text{m}$				Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45 \mu\text{m}$
			^7Be	^{90}Sr	^{137}Cs	Beta total	Beta total
Janeiro	7	(a)	(b)	(b)	(b)	$0,34 \pm 0,04$	$0,13 \pm 0,06$
Fevereiro	1	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Março	11	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
Abril	69	(a)	(a)	$0,29 \pm 0,05$	(a)	$1,2 \pm 0,3$	$5,6 \pm 0,4$
Maio	28	92 ± 17	$2,5 \pm 0,3$	(a)	$0,13 \pm 0,03$	$0,4 \pm 0,1$	$2,5 \pm 0,2$
Junho	0	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)
Julho	0	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)
Agosto	18	20 ± 10	(a)	(b)	(b)	$0,49 \pm 0,09$	(a)
Setembro	10	(a)	(a)	(b)	(b)	$0,21 \pm 0,05$	$0,24 \pm 0,07$
Outubro	46	(a)	(a)	(a)	(a)	$1,0 \pm 0,2$	$1,8 \pm 0,3$
Novembro	164	554 ± 134	162 ± 15	(a)	(a)	$1,8 \pm 0,7$	2 ± 1
Dezembro	87	87 ± 72	$3,5 \pm 0,9$	$0,08 \pm 0,05$	(a)	$7,8 \pm 0,6$	$2,6 \pm 0,6$

(a) Actividade medida na água da chuva inferior à actividade mínima detectável;

(b) Volume de amostra insuficiente para análise;

(c) Não houve precipitação;

* Dados obtidos no Instituto de Meteorologia;

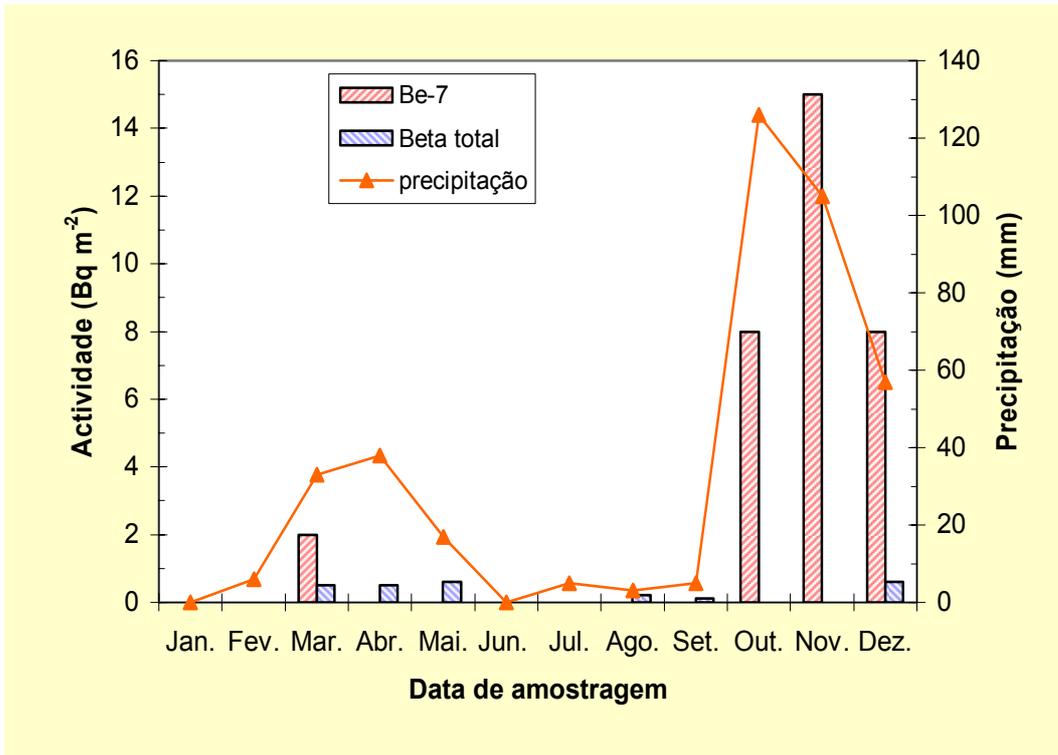


Figura 5 - Evolução dos fluxos mensais de deposição atmosférica em ⁷Be e beta total em Sacavém (campus ITN)

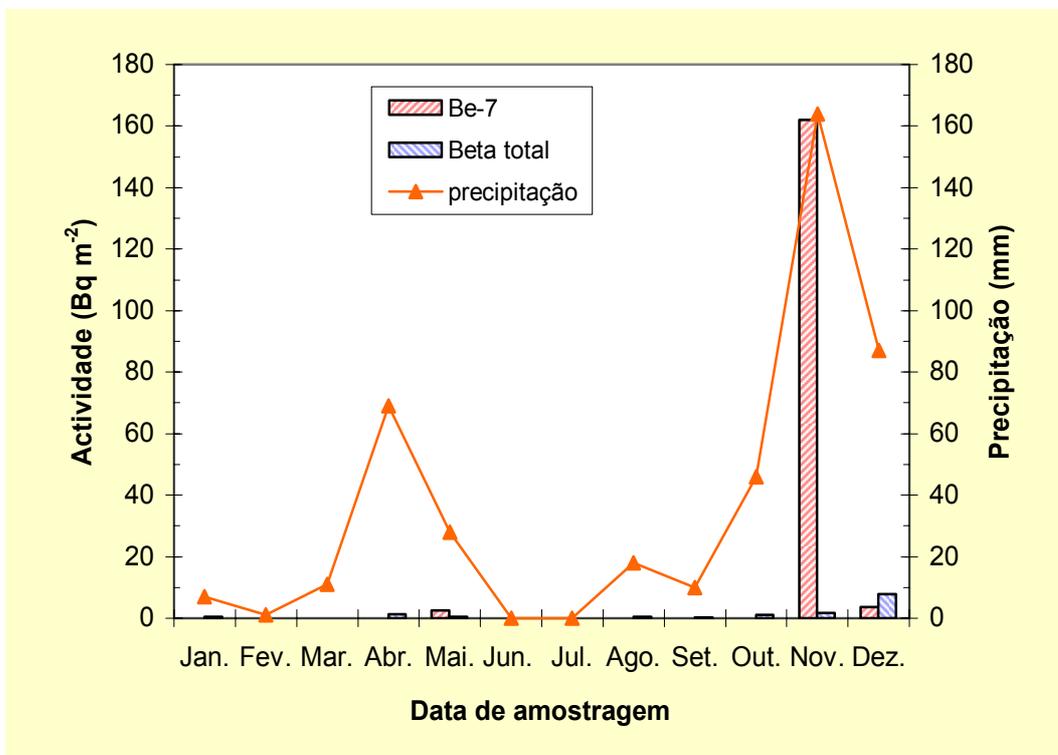


Figura 6 - Evolução dos fluxos mensais de deposição atmosférica em ⁷Be e beta total em Castelo Branco (estação meteorológica)

3. RADIOACTIVIDADE NO MEIO AQUÁTICO

3.1. Rios

3.1.1. Material e Métodos

As amostras de água dos rios foram recolhidas, com o recurso a um barco pneumático, em locais de água corrente, afastados da margem e, sempre que possível a meio do rio, a cerca de 20 cm da superfície. Quando as condições dos rios não o permitiram, foram efectuadas a partir da margem, mas sempre nos mesmos locais. As amostras de água foram recolhidas de acordo com as Normas ISO 5667-5 (1996). A amostragem dos sedimentos foi efectuada com o auxílio de um colhedor de sedimentos (cone de Berthois). As amostras de peixe foram adquiridas a pescadores locais. As plantas aquáticas foram recolhidas com o auxílio de um utensílio apropriado (forquilha).

No rio Tejo recolheram-se amostras mensais, em V. Velha de Ródão e Valada, e amostras trimestrais nas Barragens de Fratel e Belver. No rio Zezêre (Barragem de Castelo de Bode) a amostragem foi mensal. Nos rios Douro (Barca d'Alva), Mondego (Barragem da Agueira) e Guadiana (Barragem do Alqueva) procedeu-se a uma amostragem anual. Os locais de amostragem estão representados na Figura 1.

Águas

Nas amostras de água, após filtração, determinou-se o teor das partículas em suspensão ($\varnothing > 0,45\mu\text{m}$) e dos sais dissolvidos ($\varnothing \leq 0,45\mu\text{m}$) e efectuou-se a respectiva medição de radioactividade beta total, para a qual contribuem todos os radionuclidos emissores beta presentes na água. O ^{40}K , radionuclido de origem natural, contribui enormemente para a actividade beta total, pelo que se deve subtrair a sua concentração radioactiva à actividade beta total, obtendo-se assim a actividade beta residual. Nas amostras de água filtrada, determinou-se a concentração em potássio, por cromatografia iónica, a qual após conversão em ^{40}K , permitiu calcular a actividade beta residual (Gomes *et al.*, 2005).

Nas amostras de água, efectuaram-se ainda as determinações de actividade em ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^3H , por métodos radioquímicos, seguidos de medição beta, conforme descrito em 2.2.1.

Sedimentos

No laboratório, os sedimentos foram secos a 110°C , desagregados e tamisados tendo-se recolhido a fracção sedimento total (é considerado sedimento total a fracção $\varnothing \leq 1000\mu\text{m}$ do total da amostra). A partir desta fracção separaram-se as fracções areia ($250\mu\text{m} \geq \varnothing > 63\mu\text{m}$) e silte/argila ($\varnothing \leq 63\mu\text{m}$). Foram preparadas amostras representativas das três fracções e, posteriormente, determinada a sua actividade por espectrometria gama.

Peixes

No laboratório, os peixes (Barbo, *Barbus bocagei* L., Carpa, *Carassius auratus* L., Bogas, *Chondrostoma polylepis* L.) foram pesados individualmente e dissecados. O músculo foi seco a 110°C e incinerado a 450°C, sendo determinado previamente o peso fresco e depois os pesos seco e de cinzas. O total ou uma alíquota da amostra incinerada (cinzas) foi medido por espectrometria gama.

Plantas Aquáticas

No laboratório, as plantas aquáticas (hidrófitos) foram lavadas em água corrente, a fim de se retirarem os materiais agregados (sedimentos, ovos de peixe, plâncton, etc.), pesadas, secas a 110°C e incineradas a 450°C. Determinaram-se os pesos fresco, seco e de cinzas da amostra. O total ou uma alíquota da amostra incinerada (cinzas) foi medido por espectrometria gama.

3.1.2. Resultados e Discussão

Águas

Os valores da actividade específica, A , em águas de superfície colhidas no rio Tejo em Vila Velha de Ródão, Valada, Barragem de Fratel e Barragem de Belver estão presentes nas Tabelas 6 a 9, respectivamente.

Verifica-se que, em geral, os valores de actividade beta total na água filtrada são superiores aos obtidos para as partículas em suspensão, o que está relacionado com a maior concentração de radionuclidos em solução. Os valores médios anuais, no rio Tejo, para a actividade beta total variam entre $0,18 \pm 0,02$ Bq L⁻¹ em Vila Velha de Ródão e $0,15 \pm 0,04$ Bq L⁻¹ em Valada, para a água filtrada, e entre valores inferiores a $0,03$ Bq L⁻¹ e $0,04$ Bq L⁻¹, para as partículas em suspensão, em Vila Velha de Ródão e Valada, respectivamente (Tabelas 6 e 7). Os valores obtidos são, em ambos os casos, relativamente constantes durante o ano e ao longo do rio. A actividade beta residual em solução apresenta valores médios anuais inferiores a $0,06$ Bq L⁻¹ em Vila Velha de Ródão e Valada. Estes valores são inferiores aos obtidos para a actividade beta total o que é expectável uma vez que foi subtraída à actividade beta total a contribuição devida ao ⁴⁰K. Os valores da actividade beta residual são da mesma ordem de grandeza dos obtidos no ano de 2004 (Gomes *et al*, 2005) e dos valores observados em águas de superfície colhidas em vários rios espanhóis (CSN, 2005).

Os valores da actividade específica em ¹³⁷Cs são, em média, inferiores a $0,6 \times 10^{-3}$ Bq L⁻¹ mantendo-se relativamente constantes ao longo do ano, com excepção do valor de $(1,1 \pm 0,9 \times 10^{-3})$ Bq L⁻¹ obtido em Julho em V. Velha de Ródão e dos valores de

$(1,2 \pm 0,8 \times 10^{-3})$ Bq L⁻¹ e $(1,2 \pm 0,9 \times 10^{-3})$ Bq L⁻¹ obtidos em Valada nos meses de Maio e Agosto respectivamente. Para o ⁹⁰Sr os valores médios obtidos são ligeiramente superiores em Valada (Tabela 7) não variando significativamente ao longo do ano em ambas as estações, com excepção do valor obtido no mês de Abril ($7,5 \pm 0,5 \times 10^{-3}$ Bq L⁻¹) em V. Velha de Ródão (Figura 7).

Os valores da actividade específica em águas de superfície colhidas nas Barragens de Fratel e Belver (Tabelas 8 e 9) são da mesma ordem de grandeza dos obtidos em V. Velha de Ródão e Valada com excepção do valor obtido para o ⁹⁰Sr no mês de Novembro na Barragem de Fratel (Tabela 8, Figura 7). Alguns autores (Grabowski, 2000) reportam valores médios anuais em ¹³⁷Cs, em águas de superfície, que variam entre 1,8 e 6,4 mBq L⁻¹.

Os valores de actividade específica, *A*, em ³H no rio Tejo variam entre $13,6 \pm 3,0$ Bq L⁻¹, valor médio anual em V. Velha de Ródão e $8,6 \pm 2,0$ Bq L⁻¹, valor médio anual em Valada (Tabelas 6 e 7). Na Barragem de Fratel, os valores em ³H variam entre $11,5 \pm 0,7$ Bq L⁻¹ e $16,4 \pm 0,7$ Bq L⁻¹ (Tabela 8) e na Barragem de Belver entre $6,9 \pm 0,9$ Bq L⁻¹ e $15,8 \pm 0,7$ Bq L⁻¹ (Tabela 9).

Na Tabela 10 estão expressos os valores da actividade específica, *A*, em águas de superfície colhidas no rio Zêzere (Barragem de Castelo de Bode). Pode observar-se que o valor médio anual da actividade beta total nas partículas em suspensão ($< 0,03$ Bq L⁻¹) é semelhante ao obtido para o rio Tejo (Tabelas 6 e 7), enquanto que para a água filtrada esse valor é inferior ($0,04 \pm 0,01$ Bq L⁻¹). Este resultado está relacionado com a concentração dos radionuclidos em solução, como p.ex. o ⁴⁰K, que, no caso do rio Zêzere, é cerca de metade do valor observado para o rio Tejo (Gomes *et al*, 2005). Para a actividade beta residual o valor médio anual obtido para o rio Zêzere ($< 0,01$ Bq L⁻¹) é inferior aos valores observados para o rio Tejo (Tabelas 6 a 9). Verifica-se que os valores obtidos para o ¹³⁷Cs e ⁹⁰Sr são da mesma ordem de grandeza dos observados no rio Tejo (Figura 7). Pela uniformidade dos valores obtidos para os dois rios poder-se-á inferir que a existência destes radionuclidos é devida principalmente ao “fallout”. Relativamente ao ³H, constata-se que os valores observados para o rio Zêzere variam entre $2,6 \pm 0,6$ Bq L⁻¹ (valor medido no mês de Maio) e o valor da actividade mínima detectável ($0,8$ Bq L⁻¹), sendo cerca de uma ordem de grandeza inferiores aos obtidos para o rio Tejo.

Na Figura 8 estão representados os valores mensais das concentrações de actividade em ³H para os rios Tejo (V. Velha de Ródão, Barragem de Fratel, Barragem de Belver e Valada) e Zêzere (Barragem de Castelo de Bode). Da observação da Figura 8 verifica-se que a concentração de actividade em ³H é mais elevada em V. Velha de Ródão do que em Valada, o que está relacionado com as descargas, no rio Tejo, da central Nuclear de Almaraz em

Espanha e a diluição do trítio na água, ao longo do rio. Este mesmo comportamento tem vindo a ser observado ao longo dos anos (Sequeira *et al.*, 2000 & 2002; Madruga *et al.*, 2003, 2004 & 2005).

Na Tabela 11 estão expressos os valores de actividade específica em águas de superfície colhidas no rio Guadiana (Barragem de Alqueva), no rio Mondego (Barragem da Aguieira) e no rio Douro (Barragem do Pocinho). Verifica-se que os valores obtidos para a actividade beta total, beta residual, ^{137}Cs e ^{90}Sr são da mesma ordem de grandeza dos observados para o rio Tejo, com excepção do valor em ^{90}Sr , $(8,8 \pm 0,8) \times 10^{-3} \text{ Bq L}^{-1}$, medido no rio Guadiana que é superior aos valores médios obtidos para o rio Tejo. Os valores de concentração de actividade em ^3H são, em geral, da ordem de grandeza dos observados no rio Zêzere e inferiores aos medidos no rio Tejo, o que denota a influência da Central Nuclear de Almaraz (Espanha) principalmente em V. Velha de Ródão.

Tabela 6 - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ³H, beta total e beta residual em água de superfície colhida no rio Tejo (V. Velha de Ródão)

Data de colheita	Partículas em suspensão Ø > 0,45µm		³ H	Água filtrada Ø ≤ 0,45µm				
	Concentração mg L ⁻¹	Beta total		Sais dissolvidos Concentração mg L ⁻¹	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Beta total	Beta residual
Janeiro	3,1 ± 0,01	<0,01 (a)	15,9 ± 0,7	392 ± 0,8	< 0,6 × 10 ⁻³ (b)	(0,8 ± 0,4) × 10 ⁻³	0,16 ± 0,01	0,08 ± 0,01
Fevereiro	3,3 ± 0,01	0,07 ± 0,01	16,1 ± 0,7	432 ± 0,9	< 0,5 × 10 ⁻³ (b)	(2,8 ± 0,5) × 10 ⁻³	0,18 ± 0,01	0,11 ± 0,01
Março	6,3 ± 0,01	<0,01 (a)	14,0 ± 0,7	454 ± 0,9	< 0,7 × 10 ⁻³ (b)	(1,1 ± 0,7) × 10 ⁻³	0,19 ± 0,01	0,05 ± 0,01
Abril	1,2 ± 0,002	0,08 ± 0,01	14,4 ± 0,7	411 ± 0,8	<0,7 × 10 ⁻³ (b)	(7,5 ± 0,5) × 10 ⁻³	0,18 ± 0,01	0,09 ± 0,01
Maiο	3,7 ± 0,01	0,09 ± 0,01	11,9 ± 0,7	410 ± 0,8	< 0,5 × 10 ⁻³ (b)	(2,1 ± 0,4) × 10 ⁻³	0,18 ± 0,01	0,07 ± 0,01
Junho	2,5 ± 0,005	<0,01 (a)	11,6 ± 0,7	450 ± 0,9	< 0,5 × 10 ⁻³ (b)	< 0,5 × 10 ⁻³ (c)	0,20 ± 0,01	0,10 ± 0,01
Julho	7,6 ± 0,02	0,03 ± 0,01	12,4 ± 0,7	391 ± 0,8	(1,1 ± 0,9) × 10 ⁻³	(1,5 ± 0,3) × 10 ⁻³	0,16 ± 0,01	0,06 ± 0,01
Agosto	8,1 ± 0,02	<0,01 (a)	10,7 ± 0,7	439 ± 0,9	< 0,5 × 10 ⁻³ (b)	(1,1 ± 0,4) × 10 ⁻³	0,18 ± 0,01	0,06 ± 0,01
Setembro	3,8 ± 0,01	<0,01 (a)	12,5 ± 0,6	453 ± 0,9	< 0,7 × 10 ⁻³ (b)	(1,9 ± 0,5) × 10 ⁻³	0,18 ± 0,01	0,04 ± 0,01
Outubro	1,2 ± 0,002	<0,01 (a)	20,6 ± 0,9	407 ± 0,8	< 0,4 × 10 ⁻³ (b)	(3,2 ± 0,4) × 10 ⁻³	0,18 ± 0,01	0,04 ± 0,01
Novembro	2,9 ± 0,01	<0,01 (a)	14,0 ± 0,9	459 ± 0,9	< 0,3 × 10 ⁻³ (b)	(1,2 ± 0,7) × 10 ⁻³	0,18 ± 0,01	0,04 ± 0,01
Dezembro	4,9 ± 0,01	<0,01 (a)	9,2 ± 0,9	289 ± 0,6	< 0,3 × 10 ⁻³ (b)	(2,8 ± 0,5) × 10 ⁻³	0,14 ± 0,01	< 0,01 (a)
Média ± σ (n=12)	4,1 ± 2,3	< 0,03	13,6 ± 3,0	416 ± 47	< 0,6 × 10 ⁻³	< 2,2 × 10 ⁻³	0,18 ± 0,02	< 0,06

(a) Actividade mínima detectável em actividade beta total; (b) Actividade mínima detectável em ¹³⁷Cs; (c) Actividade mínima detectável em ⁹⁰Sr;

Tabela 7 - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ³H, beta total e beta residual em água de superfície colhida no rio Tejo (Valada do Ribatejo)

Data de colheita	Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45\mu\text{m}$		³ H	Água filtrada $\varnothing \leq 0,45\mu\text{m}$				
	Concentração mg L ⁻¹	Beta total		Sais dissolvidos Concentração mg L ⁻¹	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Beta total	Beta residual
Janeiro	5,9 ± 0,01	0,02 ± 0,01	4,9 ± 0,6	211 ± 0,4	(0,7 ± 0,5) × 10 ⁻³	(2,5 ± 0,7) × 10 ⁻³	0,09 ± 0,01	0,03 ± 0,01
Fevereiro	10,0 ± 0,02	0,09 ± 0,01	6,3 ± 0,7	267 ± 0,5	< 0,5 × 10 ⁻³ (b)	(2,9 ± 0,5) × 10 ⁻³	0,08 ± 0,01	0,03 ± 0,01
Março	5,1 ± 0,01	0,02 ± 0,01	11,9 ± 0,7	470 ± 0,9	< 0,4 × 10 ⁻³ (b)	(4,5 ± 0,6) × 10 ⁻³	0,21 ± 0,01	0,15 ± 0,01
Abril	4,4 ± 0,01	0,09 ± 0,01	9,6 ± 0,7	398 ± 0,8	< 0,7 × 10 ⁻³ (b)	(3,7 ± 0,6) × 10 ⁻³	0,17 ± 0,01	0,08 ± 0,01
Maió	3,1 ± 0,01	0,09 ± 0,01	8,5 ± 0,6	377 ± 0,8	(1,2 ± 0,8) × 10 ⁻³	(1,9 ± 0,4) × 10 ⁻³	0,16 ± 0,01	0,08 ± 0,01
Junho	5,7 ± 0,01	< 0,01 (a)	9,8 ± 0,7	420 ± 0,8	< 0,3 × 10 ⁻³ (b)	(1,3 ± 0,3) × 10 ⁻³	0,21 ± 0,01	0,12 ± 0,01
Julho	8,1 ± 0,02	0,05 ± 0,01	8,8 ± 0,7	420 ± 0,8	< 0,5 × 10 ⁻³ (b)	(1,9 ± 0,4) × 10 ⁻³	0,20 ± 0,01	0,09 ± 0,01
Agosto	8,9 ± 0,02	0,02 ± 0,01	11,0 ± 0,6	437 ± 0,9	(1,2 ± 0,9) × 10 ⁻³	(4,3 ± 0,7) × 10 ⁻³	0,18 ± 0,01	0,04 ± 0,01
Setembro	4,1 ± 0,01	0,03 ± 0,01	9,8 ± 0,6	317 ± 0,6	< 0,7 × 10 ⁻³ (b)	(2,6 ± 0,6) × 10 ⁻³	0,12 ± 0,01	< 0,01 (a)
Outubro	3,3 ± 0,01	0,02 ± 0,01	7,4 ± 0,9	405 ± 0,8	< 0,7 × 10 ⁻³ (b)	(3,2 ± 0,3) × 10 ⁻³	0,16 ± 0,01	< 0,01 (a)
Novembro	1,5 ± 0,003	0,03 ± 0,01	8,6 ± 0,8	227 ± 0,5	< 0,5 × 10 ⁻³ (b)	(3,6 ± 1,1) × 10 ⁻³	0,10 ± 0,01	< 0,01 (a)
Dezembro	6,8 ± 0,01	0,02 ± 0,01	7,2 ± 0,9	316 ± 0,6	< 0,3 × 10 ⁻³ (b)	(3,0 ± 0,6) × 10 ⁻³	0,14 ± 0,01	0,03 ± 0,01
Média ± σ (n=12)	5,6 ± 2,5	< 0,04	8,6 ± 2,0	355 ± 86	< 0,6 × 10 ⁻³	(3,0 ± 1,0) × 10 ⁻³	0,15 ± 0,04	< 0,06

(a) Actividade mínima detectável em actividade beta total; (b) Actividade mínima detectável em ¹³⁷Cs;

Tabela 8 - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ³H, beta total e beta residual em água de superfície colhida no rio Tejo (Barragem de Fratel)

Data de colheita	Partículas em suspensão Ø > 0,45µm		³ H	Água filtrada Ø ≤ 0,45µm				
	Concentração mg L ⁻¹	Beta total		Sais dissolvidos Concentração mg L ⁻¹	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Beta total	Beta residual
Fevereiro	3,7 ± 0,01	0,09 ± 0,01	16,4 ± 0,7	415 ± 0,8	< 0,5 × 10 ⁻³ (b)	(1,7 ± 0,5) × 10 ⁻³	0,18 ± 0,01	0,10 ± 0,01
Mai	3,0 ± 0,01	0,09 ± 0,01	14,5 ± 0,6	382 ± 0,8	< 0,5 × 10 ⁻³ (b)	(1,4 ± 0,6) × 10 ⁻³	0,17 ± 0,01	0,07 ± 0,01
Agosto	8,9 ± 0,02	< 0,01 (a)	11,5 ± 0,7	454 ± 0,9	< 0,5 × 10 ⁻³ (b)	(0,9 ± 0,2) × 10 ⁻³	0,18 ± 0,01	0,04 ± 0,01
Novembro	5,8 ± 0,01	0,03 ± 0,01	11,7 ± 0,9	227 ± 0,5	< 0,5 × 10 ⁻³ (b)	(8,2 ± 0,8) × 10 ⁻³	0,10 ± 0,01	< 0,01 (a)

Tabela 9 - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ³H, beta total e beta residual em água de superfície colhida no rio Tejo (Barragem de Belver)

Data de colheita	Partículas em suspensão Ø > 0,45µm		³ H	Água filtrada Ø ≤ 0,45µm				
	Concentração mg L ⁻¹	Beta total		Sais dissolvidos Concentração mg L ⁻¹	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Beta total	Beta residual
Fevereiro	3,8 ± 0,01	0,08 ± 0,01	15,8 ± 0,7	470 ± 0,9	(1,8 ± 0,7) × 10 ⁻³	(2,1 ± 0,4) × 10 ⁻³	0,19 ± 0,01	0,10 ± 0,01
Mai	6,2 ± 0,01	0,09 ± 0,01	14,5 ± 0,6	439 ± 0,9	(2,8 ± 0,8) × 10 ⁻³	(1,1 ± 0,4) × 10 ⁻³	0,17 ± 0,01	0,07 ± 0,01
Agosto	6,4 ± 0,01	0,02 ± 0,01	10,2 ± 0,7	432 ± 0,9	(1,2 ± 0,9) × 10 ⁻³	(1,6 ± 0,4) × 10 ⁻³	0,18 ± 0,01	0,04 ± 0,01
Novembro	5,3 ± 0,01	< 0,01 (a)	6,9 ± 0,9	239 ± 0,5	< 0,5 × 10 ⁻³ (b)	(4,6 ± 0,7) × 10 ⁻³	0,12 ± 0,01	0,04 ± 0,01

(a) Actividade mínima detectável em actividade beta total; (b) Actividade mínima detectável em ¹³⁷Cs; (c) Actividade mínima detectável em actividade beta residual;

Tabela 10 - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ³H, beta total e beta residual em água de superfície colhida no rio Zêzere (Barragem de Castelo de Bode)

Data de colheita	Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45\mu\text{m}$		³ H	Água filtrada $\varnothing \leq 0,45\mu\text{m}$				
	Concentração mg L ⁻¹	Beta total		Sais dissolvidos Concentração mg L ⁻¹	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Beta total	Beta residual
Janeiro	6,1 ± 0,01	<0,01 (a)	< 0,8 (d)	45,3 ± 0,1	< 0,7 × 10 ⁻³ (b)	(2,7 ± 0,6) × 10 ⁻³	0,03 ± 0,01	< 0,01 (a)
Fevereiro	4,8 ± 0,01	0,08 ± 0,01	1,7 ± 0,7	49,9 ± 0,1	< 0,5 × 10 ⁻³ (b)	(c)	0,03 ± 0,01	< 0,01 (a)
Março	6,1 ± 0,01	<0,01 (a)	1,0 ± 0,7	57,1 ± 0,1	< 0,4 × 10 ⁻³ (b)	(3,0 ± 0,7) × 10 ⁻³	0,03 ± 0,01	< 0,01 (a)
Abril	3,6 ± 0,01	0,08 ± 0,01	< 0,8 (d)	46,5 ± 0,1	< 0,7 × 10 ⁻³ (b)	(2,6 ± 0,6) × 10 ⁻³	0,03 ± 0,01	< 0,01 (a)
Mai	0,1 ± 0,0002	0,08 ± 0,01	2,6 ± 0,6	53,4 ± 0,1	(1,1 ± 0,9) × 10 ⁻³	(3,9 ± 0,7) × 10 ⁻³	0,05 ± 0,01	0,03 ± 0,01
Junho	3,3 ± 0,01	<0,01 (a)	< 0,8 (d)	64,9 ± 0,1	(1,7 ± 0,9) × 10 ⁻³	(1,5 ± 0,6) × 10 ⁻³	0,05 ± 0,01	0,03 ± 0,01
Julho	1,7 ± 0,003	0,06 ± 0,01	< 0,8 (d)	64,4 ± 0,1	(1,4 ± 0,9) × 10 ⁻³	(1,6 ± 0,7) × 10 ⁻³	0,04 ± 0,01	0,02 ± 0,01
Agosto	6,1 ± 0,01	<0,01 (a)	< 0,8 (d)	46,4 ± 0,1	< 0,3 × 10 ⁻³ (b)	(1,5 ± 0,5) × 10 ⁻³	0,03 ± 0,01	< 0,01 (a)
Setembro	6,7 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,9 ± 0,6	51,1 ± 0,1	< 0,7 × 10 ⁻³ (b)	(2,2 ± 0,6) × 10 ⁻³	0,03 ± 0,01	< 0,01 (a)
Outubro	5,1 ± 0,01	0,02 ± 0,01	< 0,8 (d)	49,2 ± 0,1	< 0,4 × 10 ⁻³ (b)	(3,1 ± 0,4) × 10 ⁻³	0,04 ± 0,01	< 0,01 (a)
Novembro	1,8 ± 0,004	<0,01 (a)	< 0,8 (d)	51,4 ± 0,1	< 0,3 × 10 ⁻³ (b)	(4,0 ± 0,8) × 10 ⁻³	0,04 ± 0,01	< 0,01 (a)
Dezembro	3,9 ± 0,01	<0,01 (a)	1,2 ± 0,8	44,7 ± 0,1	< 0,4 × 10 ⁻³ (b)	(2,4 ± 0,5) × 10 ⁻³	0,03 ± 0,01	< 0,01 (a)
Média ± σ	4,1 ± 2,1 (n=12)	< 0,03 (n=12)	< 1,1 (n=12)	52,0 ± 6,9 (n=12)	< 0,7 × 10 ⁻³ (n=12)	(2,6 ± 0,9) × 10 ⁻³ (n=11)	0,04 ± 0,01 (n=12)	< 0,01 (n=12)

(a) Actividade mínima detectável em actividade beta total; (b) Actividade mínima detectável em ¹³⁷Cs; (c) Amostra perdida durante a análise; (d) Actividade mínima detectável em ³H;

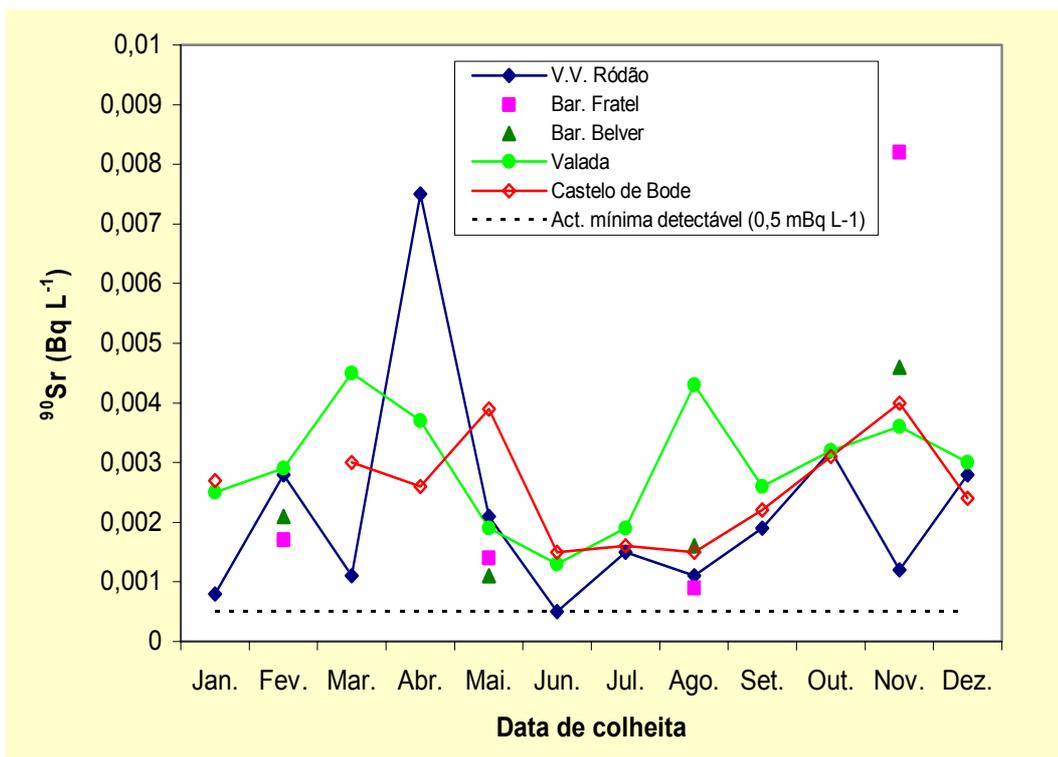


Figura 7 - Variação da concentração de actividade em ^{90}Sr (Bq L $^{-1}$) nos rios Tejo e Zêzere

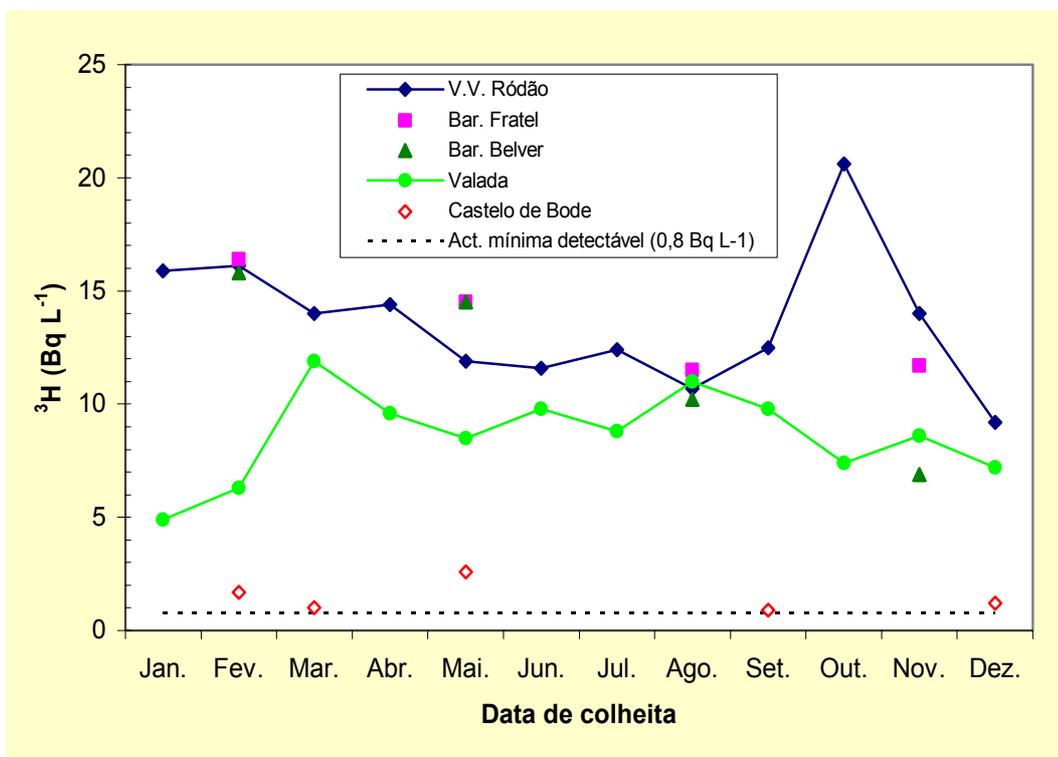


Figura 8 - Variação da concentração de actividade em ^3H (Bq L $^{-1}$) nos rios Tejo e Zêzere

Tabela 11 - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ³H, beta total e beta residual em água de superfície colhidas no rio Guadiana (Barragem de Alqueva), no rio Mondego (Barragem da Aguieira) e no rio Douro (Barragem do Pocinho)

Local de Amostragem	Matéria em suspensão Ø > 0,45µm		³ H	Água filtrada Ø ≤ 0,45µm				
	Concentração mg L ⁻¹	Beta total		Sais dissolvidos Concentração mg L ⁻¹	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Beta total	Beta residual
Rio Guadiana (Barragem de Alqueva)	4,1 ± 0,01	0,10 ± 0,01	3,3 ± 0,6	339 ± 0,7	< 0,5 × 10 ⁻³ (b)	(8,8 ± 0,8) × 10 ⁻³	0,20 ± 0,01	0,08 ± 0,01
Rio Mondego (Barragem da Aguieira)	2,1 ± 0,004	<0,01 (a)	< 0,8	61,1 ± 0,1	< 0,5 × 10 ⁻³ (b)	(c)	0,07 ± 0,01	0,03 ± 0,01
Rio Douro (Barragem do Pocinho)	2,9 ± 0,01	<0,01 (a)	< 0,8	313 ± 0,6	< 0,5 × 10 ⁻³ (b)	< 0,6 × 10 ⁻³ (d)	0,12 ± 0,01	0,05 ± 0,01

(a) Actividade mínima detectável em actividade beta total;

(b) Actividade mínima detectável em ¹³⁷Cs;

(c) Amostra perdida durante a análise;

(d) Actividade mínima detectável em ⁹⁰Sr;

Sedimentos

Nas Tabelas 12 a 23 estão expressos os valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg^{-1}), dos radionuclidos detectados no sedimento total (é considerado sedimento total a fracção de $\varnothing \leq 1000\mu\text{m}$ do total da amostra recolhida), na fracção areia ($250\mu\text{m} \geq \varnothing > 63\mu\text{m}$) e na fracção silte/argila ($\varnothing \leq 63\mu\text{m}$) colhidos no rio Tejo, em V. Velha de Ródão, Valada, Barragens de Fratel e Belver.

Verifica-se que a actividade específica média anual relativa às famílias radioactivas naturais do ^{232}Th (medida através do ^{228}Ra e descendentes) e do ^{238}U (medida através do ^{226}Ra e descendentes) apresenta grandes variações, principalmente em V. Velha de Ródão para a fracção areia, com desvios padrão da média superiores a 100% (Tabela 13). Os valores médios anuais para o ^{228}Ra foram de: $84 \pm 67 \text{ Bq kg}^{-1}$ para o sedimento total, $315 \pm 437 \text{ Bq kg}^{-1}$ para a fracção areia e $309 \pm 117 \text{ Bq kg}^{-1}$ para a fracção silte/argila. Para o ^{226}Ra os valores médios obtidos foram de: $49 \pm 30 \text{ Bq kg}^{-1}$ para o sedimento total, $152 \pm 197 \text{ Bq kg}^{-1}$ para a fracção areia e $183 \pm 63 \text{ Bq kg}^{-1}$ para a fracção silte/argila. Relativamente a Valada os valores das concentrações de actividade em ^{228}Ra e ^{226}Ra apresentam menor variação e são, em geral, inferiores aos observados em V. Velha de Ródão. Esta diferença é devida à origem geológica dos sedimentos que, no caso de V. Velha de Ródão, estando situada na região granítica de Nisa é expectável a existência de concentrações mais elevadas dos radionuclidos das famílias radioactivas naturais. O ^{235}U apresenta valores, na grande maioria dos casos, inferiores à actividade mínima detectável para ambas as estações de amostragem. Relativamente ao ^{137}Cs , as concentrações de actividade médias anuais são ligeiramente mais elevadas em V. Velha de Ródão. Por exemplo, para o sedimento total obteve-se o valor inferior a $1,5 \text{ Bq kg}^{-1}$ em V. Velha de Ródão e inferior a $0,6 \text{ Bq kg}^{-1}$ em Valada. Para o ^7Be , os valores situam-se abaixo dos valores de actividade mínima detectável. Os valores das concentrações de actividade em ^{235}U , ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{137}Cs , ^{40}K e ^7Be medidos nos sedimentos colhidos na barragem de Fratel (Tabelas 18 a 20) e na barragem de Belver (Tabelas 21 a 23) são da mesma ordem de grandeza dos obtidos em V. Velha de Ródão e Valada.

A razão $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ é, em termos de valores médios anuais, para todos os sedimentos do rio Tejo e para todas as granulometrias, superior à unidade. Sendo o ^{228}Ra e o ^{226}Ra descendentes das séries radioactivas do ^{232}Th e ^{238}U , respectivamente, os valores mais elevados obtidos para o ^{228}Ra , podem estar relacionados com o menor grau de solubilidade e consequentemente menor mobilidade geoquímica do ^{232}Th em relação ao ^{238}U .

Nas Figuras 9 a 12 e 13 a 16 estão representadas as variações das concentrações de actividade em ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{137}Cs e ^{40}K para o sedimento total, areia e silte/argila colhidos em V. Velha de Ródão e Valada respectivamente. Como se pode observar, em todas as estações

de amostragem, há uma tendência para um aumento da concentração dos radionuclídeos naturais ^{228}Ra e ^{226}Ra e do radionuclídeo artificial ^{137}Cs para a fracção silte/argila com excepção do ^{40}K , para o qual se observa um decréscimo da concentração de actividade. Este decréscimo poderá estar relacionado com a composição mineralógica da fracção silte/argila que deve ser mais pobre em minerais ricos em potássio.

Nas Tabelas 24 a 26 estão expressos os valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg^{-1}), dos radionuclídeos (naturais e artificiais) detectados em sedimento totais, areia ($250\mu\text{m} \geq \varnothing > 63\mu\text{m}$) e silte/argila ($\varnothing \leq 63\mu\text{m}$) colhidos nos rios Douro, Mondego e Guadiana. Pode observar-se uma tendência para o aumento da concentração de actividade em ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{137}Cs com a diminuição da granulometria, tal como observado para o rio Tejo. Verifica-se que, em geral, os valores obtidos para estes rios são da mesma ordem de grandeza dos observados para o rio Tejo.

Constata-se que os valores obtidos para os radionuclídeos analisados em sedimentos dos rios Tejo, Douro, Mondego e Guadiana são da mesma ordem de grandeza dos obtidos em anos anteriores (Sequeira *et al.*, 2000 & 2002; Madruga *et al.*, 2003, 2004 & 2005).

Peixes

Nas Tabelas 27 e 28 estão expressos os valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg^{-1} , peso de músculo fresco) de radionuclídeos naturais e artificiais em peixes capturados nos rios Tejo (V. Velha de Ródão) e Douro (Barca d'Alva). Pela análise dos resultados verifica-se que as concentrações em ^{137}Cs , ^{226}Ra e ^{228}Ra são todas inferiores à actividade mínima detectável com valores variando entre 0,1 e 0,3 Bq kg^{-1} . Os valores de actividade específica em ^{40}K são relativamente constantes variando entre $114 \pm 6 \text{ Bq kg}^{-1}$ e $124 \pm 8 \text{ Bq kg}^{-1}$. Estes valores são da mesma ordem de grandeza dos observados em anos anteriores em peixes capturados nos rios Tejo e Douro (Sequeira *et al.*, 2000 & 2002; Madruga *et al.*, 2003, 2004 & 2005).

Plantas Aquáticas

Na Tabela 29 estão expressos os valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg^{-1} , peso fresco) de radionuclídeos naturais e artificiais em hidrófitos (*Potamogeton crispus* L.) colhidos no rio Douro (Barragem do Pocinho), o único local de amostragem onde foi possível colher este tipo de amostras. Os valores de actividade em ^{235}U , ^{137}Cs e ^7Be situam-se abaixo do valor da actividade mínima detectável. Obtiveram-se os valores de $1,2 \pm 0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ e $0,6 \pm 0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ para a actividade em ^{226}Ra e ^{228}Ra respectivamente. Para o ^{40}K o valor medido foi de $21 \pm 1 \text{ Bq kg}^{-1}$.

Tabela 12 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ ($Bq\ kg^{-1}$), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em sedimentos totais colhidos no rio Tejo em Vila Velha de Ródão

Data de colheita	^{235}U	^{228}Ra	^{226}Ra	^{137}Cs	^{40}K	7Be
Janeiro	< 5 (a)	101 ± 3	57 ± 2	1,7 ± 0,4	838 ± 50	< 31 (a)
Fevereiro	< 4 (a)	66 ± 2	40 ± 1	1,6 ± 0,2	907 ± 40	< 35 (a)
Março	8 ± 2	251 ± 6	124 ± 3	1,2 ± 0,3	824 ± 37	< 25 (a)
Abril	< 6 (a)	93 ± 3	54 ± 2	1,9 ± 0,5	915 ± 57	< 4 (a)
Maio	< 4 (a)	42 ± 2	30 ± 1	1,3 ± 0,4	906 ± 54	< 16 (a)
Junho	6 ± 2	172 ± 4	88 ± 2	1,2 ± 0,3	839 ± 38	< 25 (a)
Julho	< 3 (a)	90 ± 2	51 ± 1	1,4 ± 0,2	896 ± 40	< 37 (a)
Agosto	< 4 (a)	40 ± 1	28 ± 1	1,5 ± 0,2	889 ± 42	< 16 (a)
Setembro	< 4 (a)	32 ± 1	25 ± 1	1,8 ± 0,2	917 ± 41	< 11 (a)
Outubro	< 3 (a)	32 ± 1	30 ± 1	0,8 ± 0,2	907 ± 41	< 15 (a)
Novembro	< 3 (a)	23 ± 1	21 ± 1	< 5,5 (a)	947 ± 42	< 7 (a)
Dezembro	< 3 (a)	62 ± 2	40 ± 1	1,8 ± 0,2	842 ± 38	< 7 (a)
Média ± σ n=12	< 4	84 ± 67	49 ± 30	< 1,5	886 ± 39	-

Tabela 13 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ ($Bq\ kg^{-1}$), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em areia ($250\ \mu m \geq \varnothing > 63\ \mu m$) colhida no rio Tejo, em Vila Velha de Ródão

Data de colheita	^{235}U	^{228}Ra	^{226}Ra	^{137}Cs	^{40}K	7Be
Janeiro	< 6 (a)	212 ± 6	104 ± 3	2,5 ± 0,4	743 ± 35	< 66 (a)
Fevereiro	< 7 (a)	169 ± 6	85 ± 3	< 2,6 (a)	679 ± 46	< 81 (a)
Março	41 ± 7	1583 ± 46	724 ± 20	< 5,1 (a)	622 ± 43	< 32 (a)
Abril	8 ± 2	229 ± 7	109 ± 4	2,0 ± 0,6	717 ± 47	< 27 (a)
Maio	< 5 (a)	90 ± 3	51 ± 2	1,9 ± 0,5	706 ± 44	< 19 (a)
Junho	16 ± 4	715 ± 19	333 ± 9	< 2,9 (a)	656 ± 60	< 53 (a)
Julho	6 ± 2	272 ± 7	128 ± 3	1,8 ± 0,4	788 ± 38	< 31 (a)
Agosto	< 7 (a)	103 ± 3	59 ± 2	1,9 ± 0,4	781 ± 37	< 26 (a)
Setembro	< 5 (a)	99 ± 3	57 ± 2	3,4 ± 0,4	774 ± 37	< 11 (a)
Outubro	< 4 (a)	62 ± 2	38 ± 1	< 1,1 (a)	816 ± 32	< 19 (a)
Novembro	< 5 (a)	41 ± 1	27 ± 1	1,7 ± 0,3	792 ± 38	< 13 (a)
Dezembro	< 7 (a)	203 ± 5	104 ± 3	1,9 ± 0,4	772 ± 37	< 23 (a)
Média ± σ n=12	< 10	315 ± 437	152 ± 197	< 2,4	738 ± 59	-

(a) Actividade mínima detectável. Este valor depende das condições de medição;

Tabela 14 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em silte/argila ($\varnothing \leq 63 \mu\text{m}$) colhida no rio Tejo, em Vila Velha de Ródão

Data de colheita	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Janeiro	< 20 (a)	348 ± 40	202 ± 24	< 5,1 (a)	630 ± 97	< 286 (a)
Fevereiro	10 ± 6	287 ± 11	165 ± 7	8,4 ± 2,3	715 ± 77	< 124 (a)
Março	< 21 (a)	285 ± 10	158 ± 6	6,5 ± 1,8	730 ± 73	< 171 (a)
Abril	< 40 (a)	496 ± 18	269 ± 10	7,8 ± 2,5	620 ± 8	-
Mai	< 40 (a)	415 ± 16	222 ± 9	< 9,6 (a)	474 ± 85	-
Junho	< 31 (a)	189 ± 8	121 ± 6	< 5,0 (a)	777 ± 81	< 138 (a)
Julho	< 37 (a)	200 ± 7	132 ± 5	5,3 ± 2,1	573 ± 82	< 420 (a)
Agosto	< 29 (a)	411 ± 13	251 ± 8	6,4 ± 1,6	648 ± 63	< 297 (a)
Setembro	< 37 (a)	250 ± 11	162 ± 8	< 7,0 (a)	604 ± 91	< 182 (a)
Outubro	< 29 (a)	467 ± 12	291 ± 8	< 5,4 (a)	617 ± 73	< 156 (a)
Novembro	< 37 (a)	146 ± 6	94 ± 5	< 5,5 (a)	669 ± 88	< 102 (a)
Dezembro	12 ± 4	210 ± 9	134 ± 6	6,9 ± 1,4	585 ± 73	< 46 (a)
Média ± σ n=12	< 28	309 ± 117	183 ± 63	< 6,6	637 ± 80	-

Tabela 15 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em sedimentos totais colhidos no rio Tejo, em Valada do Ribatejo

Data de colheita	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Janeiro	< 4 (a)	15 ± 1	11 ± 1	< 0,6 (a)	837 ± 50	< 29 (a)
Fevereiro	< 5 (a)	29 ± 1	19 ± 1	< 0,9 (a)	808 ± 50	< 26 (a)
Março	< 2 (a)	22 ± 1	17 ± 1	< 0,5 (a)	841 ± 38	< 7 (a)
Abril	< 3 (a)	27 ± 1	18 ± 1	< 0,5 (a)	837 ± 48	< 20 (a)
Mai	< 3 (a)	29 ± 1	20 ± 1	0,5 ± 0,2	853 ± 38	< 17 (a)
Junho	< 3 (a)	32 ± 1	24 ± 1	1,0 ± 0,3	920 ± 54	< 30 (a)
Julho	< 3 (a)	29 ± 1	20 ± 1	0,8 ± 0,2	858 ± 38	< 8 (a)
Agosto	< 4 (a)	20 ± 1	15 ± 1	< 0,6 (a)	873 ± 39	< 20 (a)
Setembro	< 2 (a)	17 ± 1	13 ± 1	< 0,5 (a)	907 ± 40	< 12 (a)
Outubro	< 4 (a)	28 ± 1	21 ± 1	< 1,1 (a)	919 ± 54	< 14 (a)
Novembro	< 3 (a)	22 ± 1	16 ± 1	< 0,3 (a)	826 ± 37	< 7 (a)
Dezembro	< 3 (a)	26 ± 1	21 ± 1	< 0,4 (a)	911 ± 41	< 5 (a)
Média ± σ n=12	-	24 ± 5	18 ± 4	< 0,6	866 ± 39	-

(a) Actividade mínima detectável. Este valor depende das condições de medição;

Tabela 16 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em areia ($250 \mu\text{m} \geq \varnothing > 63 \mu\text{m}$) colhida no rio Tejo, em Valada do Ribatejo

Data de colheita	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Janeiro	< 6 (a)	43 ± 2	26 ± 1	< 1,5 (a)	738 ± 49	< 39 (a)
Fevereiro	< 7 (a)	79 ± 3	43 ± 2	< 1,9 (a)	761 ± 49	< 32 (a)
Março	< 4 (a)	68 ± 2	39 ± 1	1,5 ± 0,4	811 ± 31	< 25 (a)
Abril	< 5 (a)	105 ± 8	59 ± 3	1,3 ± 0,5	823 ± 50	< 22 (a)
Maiο	< 8 (a)	95 ± 3	55 ± 2	1,4 ± 0,4	954 ± 52	< 41 (a)
Junho	< 6 (a)	68 ± 2	40 ± 1	1,1 ± 0,4	811 ± 73	< 24 (a)
Julho	2,3 ± 1,4	69 ± 2	40 ± 1	0,8 ± 0,2	821 ± 38	< 27 (a)
Agosto	< 6 (a)	54 ± 2	33 ± 1	< 1,4 (a)	855 ± 32	< 26 (a)
Setembro	< 4 (a)	46 ± 2	29 ± 1	0,8 ± 0,3	892 ± 42	< 22 (a)
Outubro	< 5 (a)	38 ± 1	29 ± 1	1,0 ± 0,3	852 ± 40	< 15 (a)
Novembro	< 7 (a)	67 ± 2	40 ± 1	< 1,1 (a)	821 ± 32	< 17 (a)
Dezembro	< 3 (a)	53 ± 1	33 ± 1	0,8 ± 0,3	826 ± 39	< 15 (a)
Média ± σ n=12	< 6	65 ± 20	39 ± 10	< 1,2	830 ± 56	-

Tabela 17 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em silte/argila (fracção $\varnothing \leq 63 \mu\text{m}$) colhida no rio Tejo, em Valada do Ribatejo

Data de colheita	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Janeiro	< 33 (a)	127 ± 9	76 ± 7	< 10,3 (a)	587 ± 138	< 28 (a)
Fevereiro	< 12 (a)	174 ± 6	104 ± 4	4,5 ± 1,1	725 ± 56	< 24 (a)
Março	< 2 (a)	176 ± 7	108 ± 5	4,4 ± 1,7	819 ± 72	< 38 (a)
Abril	< 30 (a)	269 ± 10	160 ± 6	< 7,4 (a)	764 ± 76	< 89 (a)
Maiο	< 18 (a)	350 ± 14	193 ± 8	< 6,9 (a)	833 ± 91	< 279 (a)
Junho	9 ± 3	200 ± 6	121 ± 4	2,2 ± 0,6	679 ± 63	< 39 (a)
Julho	< 9 (a)	156 ± 4	95 ± 3	3,9 ± 0,6	783 ± 39	< 48 (a)
Agosto	< 30 (a)	217 ± 11	125 ± 7	6,4 ± 2,1	817 ± 97	< 484 (a)
Setembro	< 32 (a)	144 ± 5	106 ± 4	< 7,1 (a)	757 ± 82	< 207 (a)
Outubro	< 6 (a)	107 ± 4	71 ± 2	2,6 ± 0,5	534 ± 43	< 27 (a)
Novembro	< 31 (a)	160 ± 6	103 ± 4	4,0 ± 1,8	730 ± 79	< 96 (a)
Dezembro	< 9 (a)	130 ± 5	83 ± 3	2,7 ± 0,8	796 ± 78	< 34 (a)
Média ± σ n=12	< 19	184 ± 68	112 ± 35	< 5	735 ± 94	-

(a) - Actividade mínima detectável. Este valor depende das condições de medição;

Tabela 18 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em sedimentos totais colhidos no rio Tejo, na Barragem de Fratel

Data de colheita	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Fevereiro	< 5 (a)	25 ± 1	39 ± 2	0,8 ± 0,5	861 ± 53	< 27 (a)
Maio (b)	-	-	-	-	-	-
Agosto (b)	-	-	-	-	-	-
Novembro	< 39 (a)	32 ± 1	43 ± 1	3,7 ± 0,4	762 ± 36	< 9 (a)

Tabela 19 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em areia (250 µm ≥ Ø >63 µm) colhida no rio Tejo, na Barragem de Fratel

Data de colheita	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Fevereiro	< 11 (a)	48 ± 3	72 ± 4	< 3,5 (a)	956 ± 77	< 96 (a)
Maio (b)	-	-	-	-	-	-
Agosto (b)	-	-	-	-	-	-
Novembro	< 6 (a)	41 ± 2	49 ± 2	5,1 ± 0,6	770 ± 71	< 29 (a)

Tabela 20 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em silte/argila (Ø ≤ 63 µm) colhida no rio Tejo, na Barragem de Fratel

Data de colheita	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Fevereiro	< 13 (a)	94 ± 3	112 ± 3	11,6 ± 1,0	884 ± 41	< 52 (a)
Maio (b)	-	-	-	-	-	-
Agosto (b)	-	-	-	-	-	-
Novembro	< 8 (a)	74 ± 2	74 ± 2	7,3 ± 0,7	685 ± 35	< 25 (a)

(a) Actividade mínima detectável. Este valor depende das condições de medição;

(b) Não foi possível a colheita de sedimento devido às condições do rio;

Tabela 21 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em sedimentos totais colhidos no rio Tejo, na Barragem de Belver

Data de colheita	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Fevereiro	< 4 (a)	56 ± 2	32 ± 1	0,9 ± 0,2	831 ± 37	< 12 (a)
Maio	< 3 (a)	20 ± 1	16 ± 1	< 0,7	654 ± 30	< 16 (a)
Agosto	< 3 (a)	24 ± 1	18 ± 1	1,3 ± 0,2	889 ± 29	< 23 (a)
Novembro	< 2 (a)	19 ± 1	14 ± 1	1,0 ± 0,2	831 ± 37	< 8 (a)

Tabela 22 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em areia (250 µm ≥ Ø >63 µm) colhida no rio Tejo, na Barragem de Belver

Data de colheita	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Fevereiro	< 8 (a)	238 ± 8	112 ± 4	4,2 ± 0,8	697 ± 5	< 74 (a)
Maio	< 4 (a)	89 ± 2	52 ± 2	1,0 ± 0,3	807 ± 39	< 12 (a)
Agosto	< 4 (a)	54 ± 2	34 ± 1	2,7 ± 0,4	814 ± 32	< 29 (a)
Novembro	< 4 (a)	45 ± 1	29 ± 1	2,2 ± 0,3	764 ± 36	< 13 (a)

Tabela 23 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em silte/argila (Ø ≤ 63 µm) colhida no rio Tejo, na Barragem de Belver

Data de colheita	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Fevereiro	< 33 (a)	112 ± 34	579 ± 18	< 7,1 (a)	795 ± 83	< 530 (a)
Maio	< 60 (a)	249 ± 9	153 ± 7	< 10,5 (a)	547 ± 96	-
Agosto	< 110 (a)	714 ± 23	407 ± 16	15,6 ± 6,1	1499 ± 206	< 622 (a)
Novembro	< 33 (a)	277 ± 8	162 ± 5	6,4 ± 2,0	626 ± 73	< 74 (a)

(a) Actividade mínima detectável. Este valor depende das condições de medição;

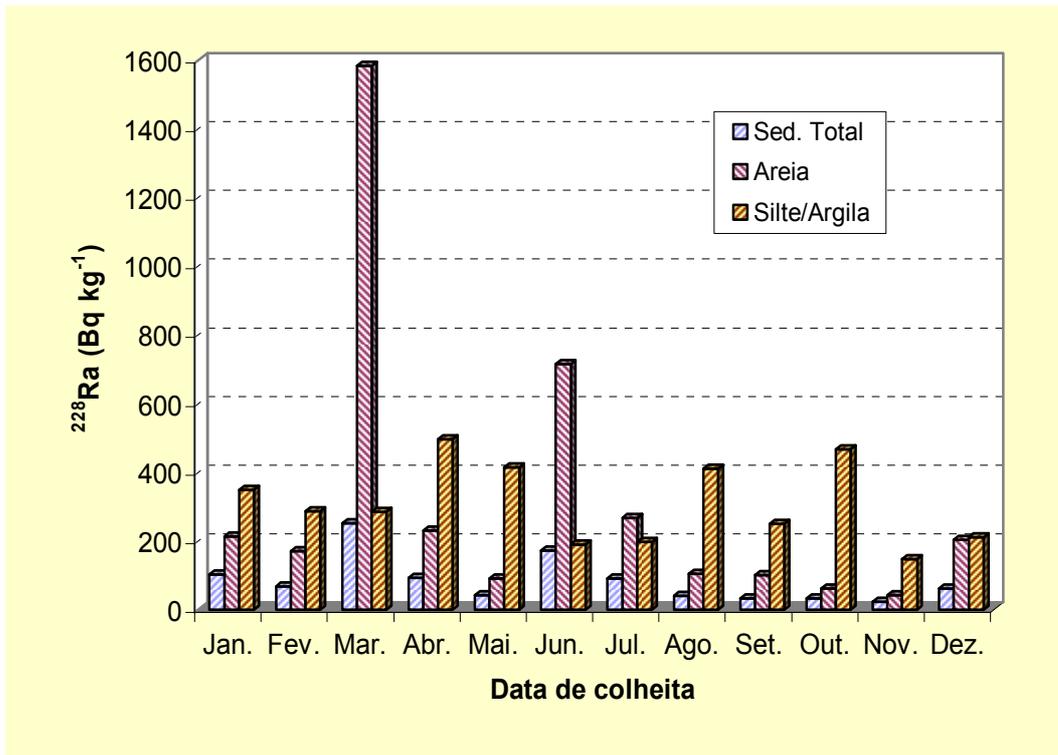


Figura 9 – Variação da actividade específica em ^{228}Ra (Bq kg^{-1}) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em V. Velha de Ródão

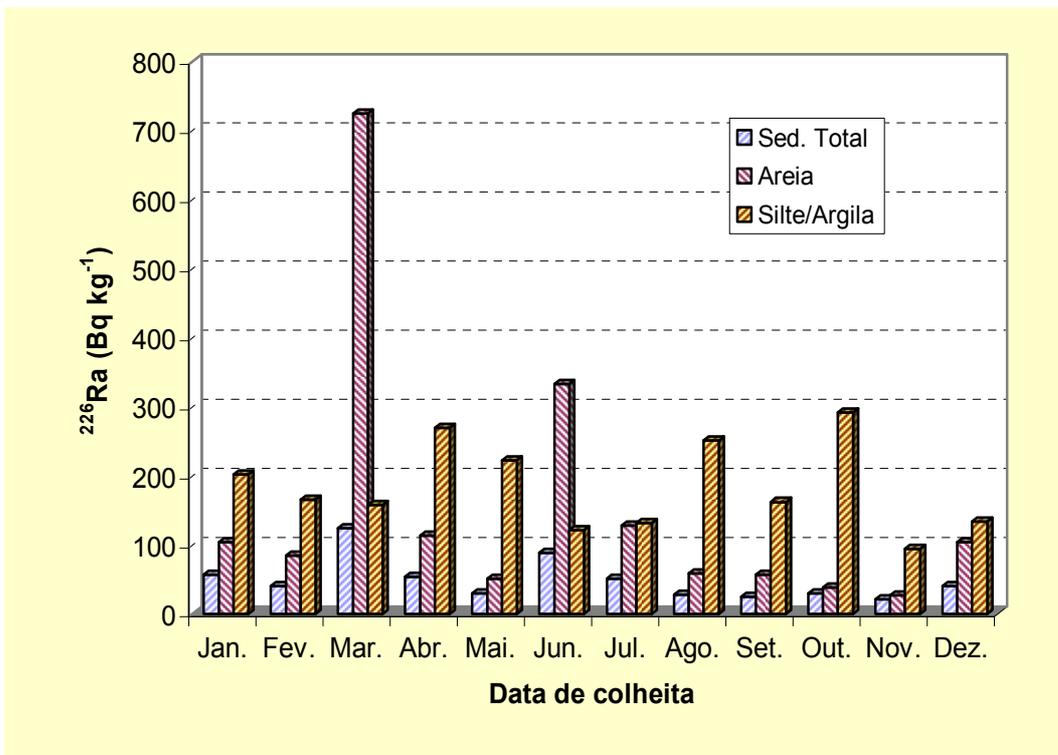


Figura 10 – Variação da actividade específica em ^{226}Ra (Bq kg^{-1}) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em V. Velha de Ródão

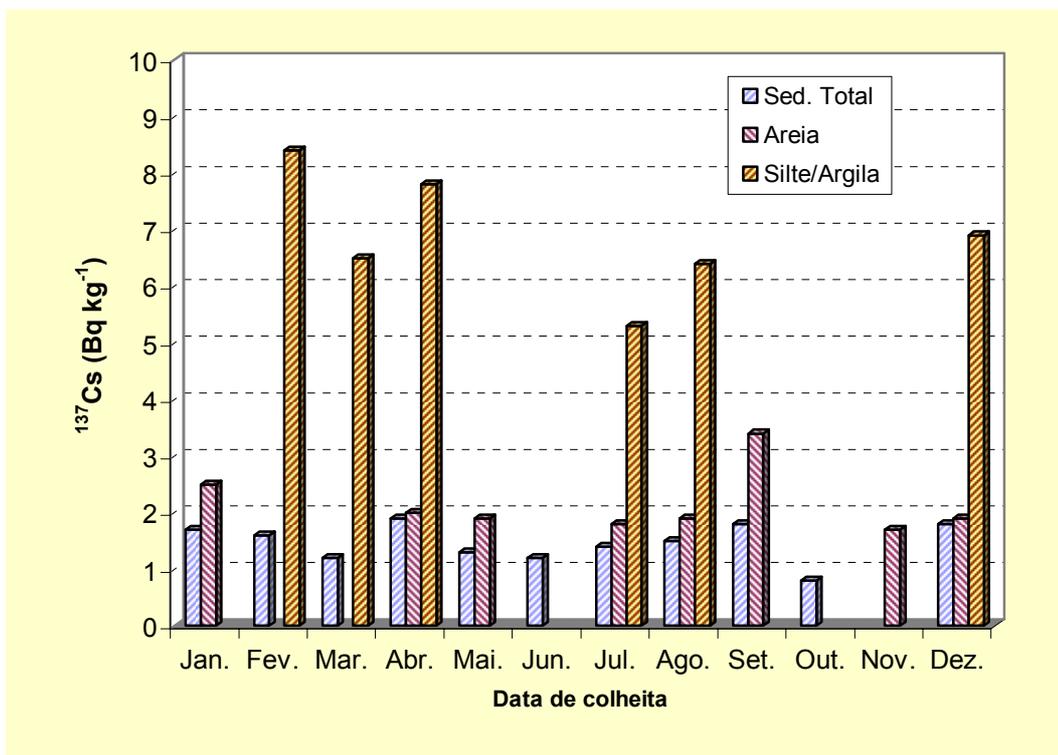


Figura 11 – Variação da actividade específica em ^{137}Cs (Bq kg $^{-1}$) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em V. Velha de Ródão

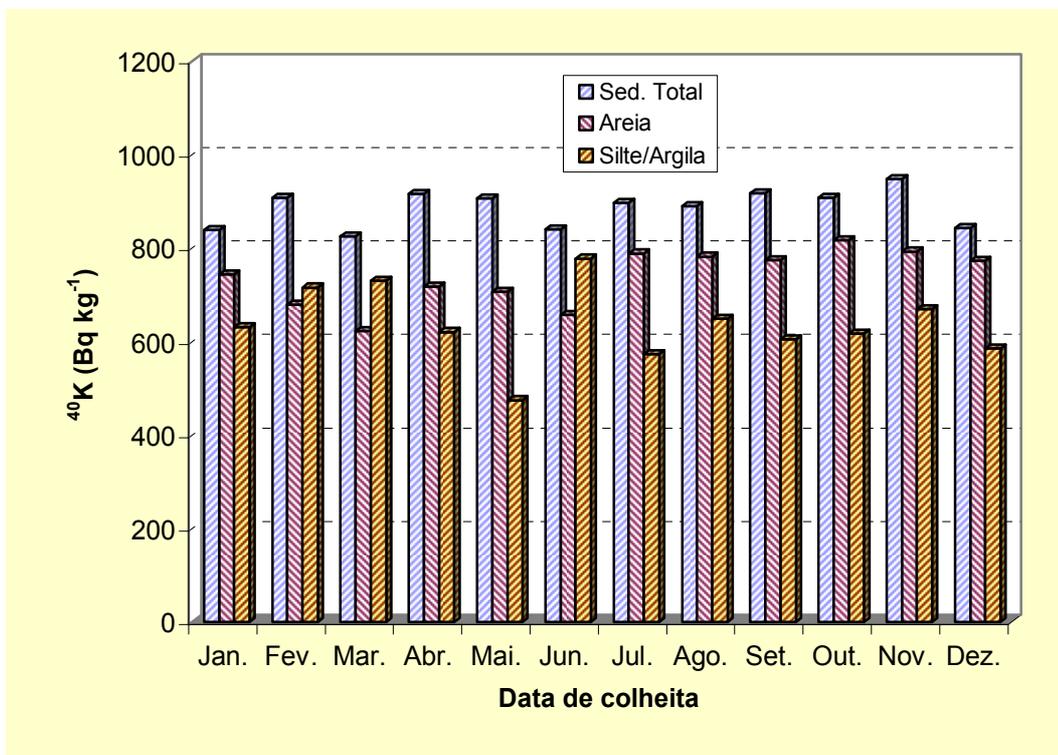


Figura 12 – Variação da actividade específica em ^{40}K (Bq kg $^{-1}$) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em V. Velha de Ródão

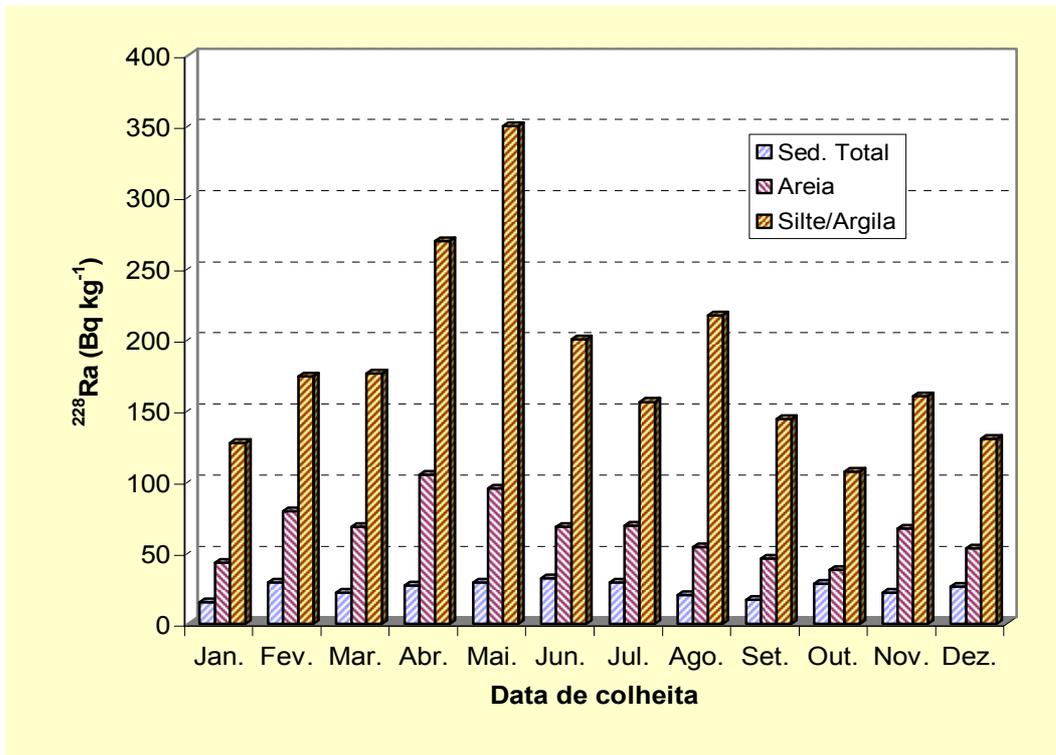


Figura 13 – Variação da actividade específica em ^{228}Ra (Bq kg^{-1}) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em Valada

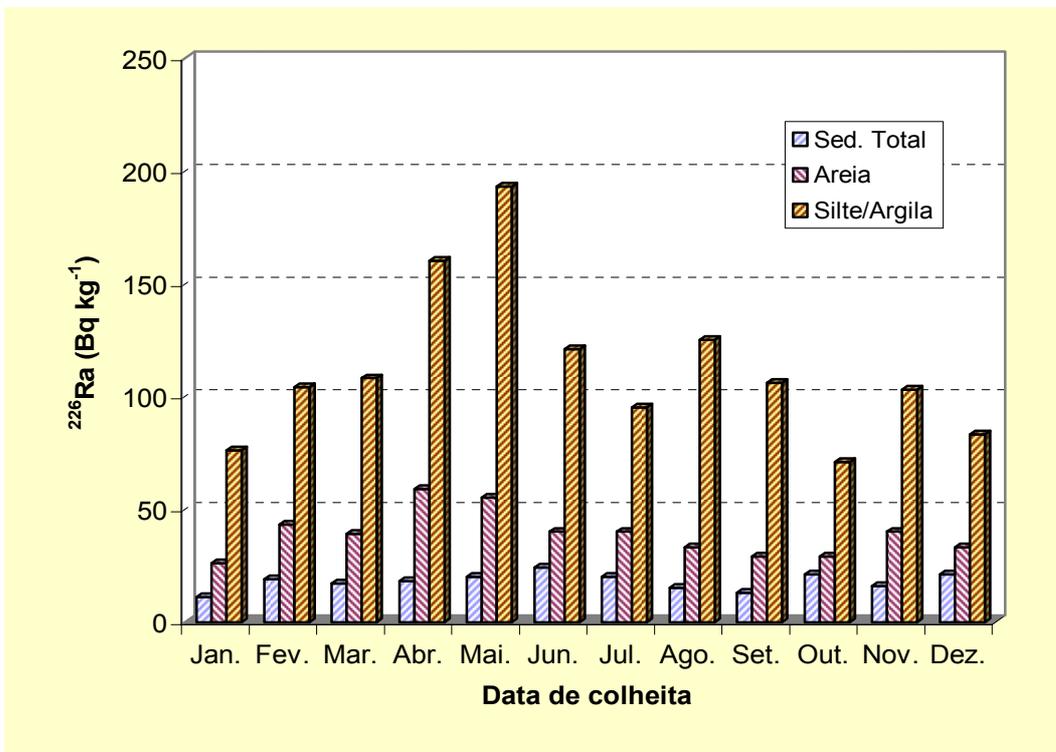


Figura 14 – Variação da actividade específica em ^{226}Ra (Bq kg^{-1}) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em Valada

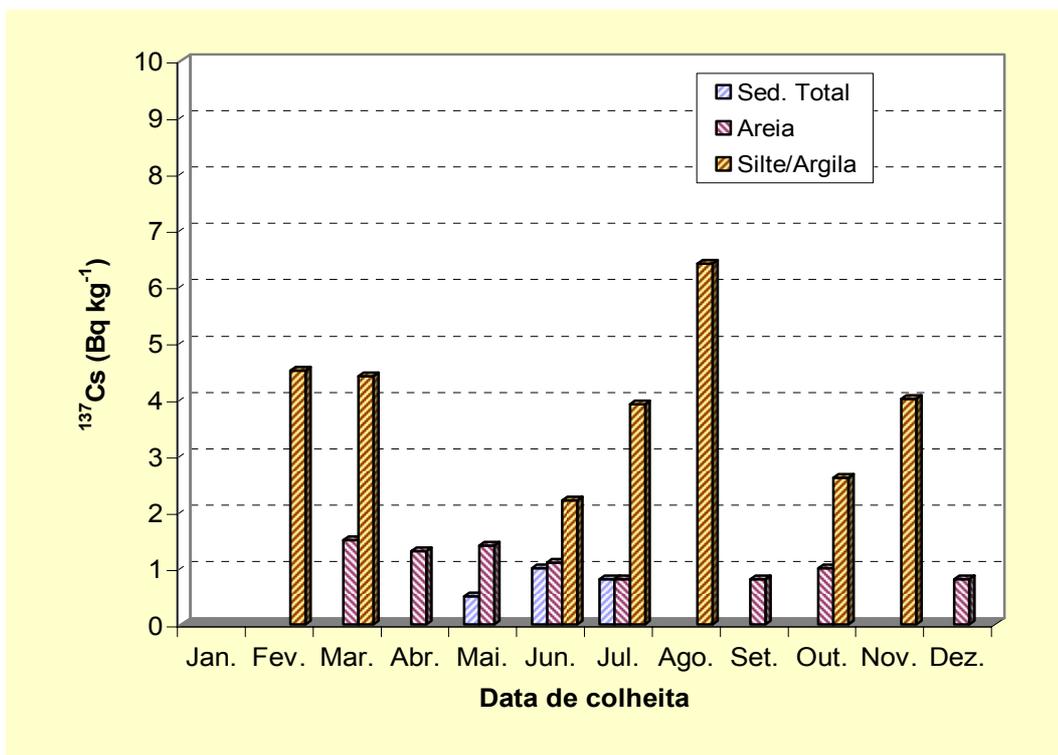


Figura 15 – Variação da actividade específica em ^{137}Cs (Bq kg $^{-1}$) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em Valada

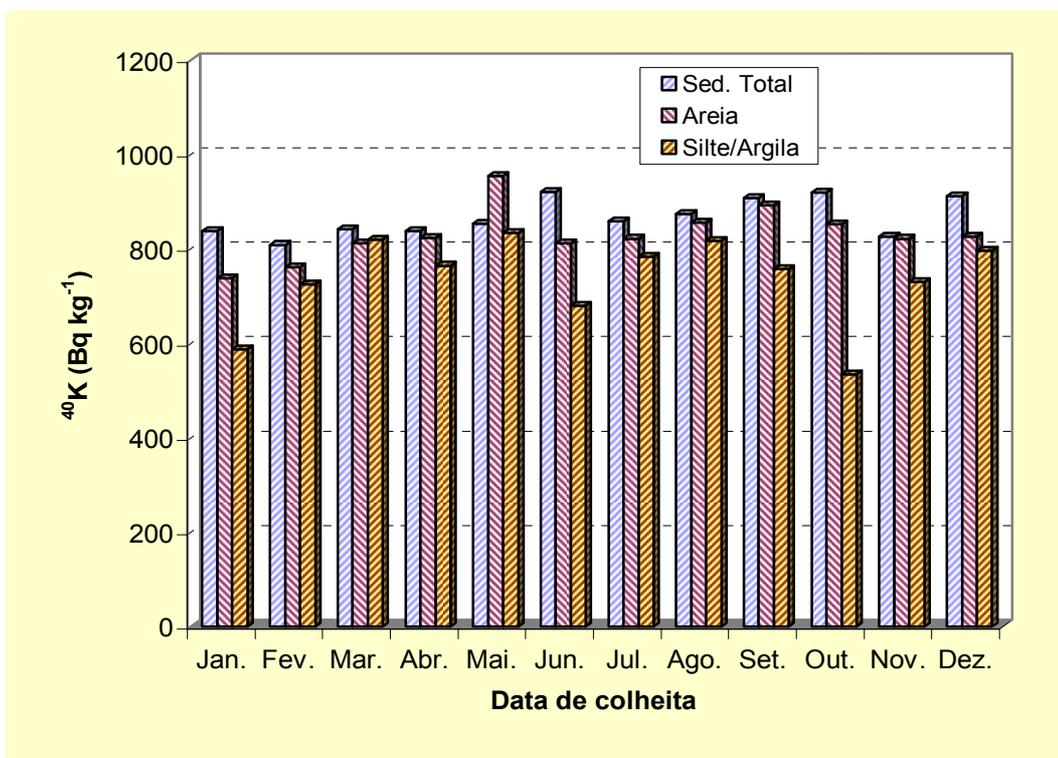


Figura 16 – Variação da actividade específica em ^{40}K (Bq kg $^{-1}$) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em Valada

Tabela 24 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em sedimentos totais colhidos nos rios Douro, Mondego e Guadiana

Data de colheita	Local de amostragem	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Abril	Rio Guadiana (Bar. Alqueva)	< 3 (a)	10,4 ± 0,4	5,5 ± 0,3	< 0,4 (a)	461 ± 22	< 3 (a)
Junho	Rio Douro (Bar. do Pocinho)	< 4 (a)	23 ± 1	32 ± 1	0,7 ± 0,2	893 ± 40	< 4 (a)
Junho	Rio Mondego (Bar. Aguieira)	6 ± 2	132 ± 4	83 ± 3	< 1,4 (a)	374 ± 26	< 31 (a)

Tabela 25 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em areia (250 μm ≥ Ø > 63 μm) colhida nos rios Douro, Mondego e Guadiana

Data de colheita	Local de amostragem	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Abril	Rio Guadiana (Bar. Alqueva)	< 11 (a)	183 ± 4	115 ± 2	< 2,4 (a)	436 ± 23	< 49 (a)
Junho	Rio Douro (Bar. do Pocinho)	< 6 (a)	34 ± 1	15 ± 1	< 1 (a)	444 ± 21	< 36 (a)
Junho	Rio Mondego (Bar. Aguieira)	5 ± 2	38 ± 1	36 ± 1	1,4 ± 0,3	702 ± 34	< 21 (a)

Tabela 26 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em silte/argila (Ø ≤ 63 μm) colhida nos rios Douro, Mondego e Guadiana

Data de colheita	Local de amostragem	²³⁵ U	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Abril	Rio Guadiana (Bar. Alqueva)	11 ± 3	247 ± 7	144 ± 4	< 2,3 (a)	451 ± 26	< 48 (a)
Junho	Rio Douro (Bar. do Pocinho)	< 33 (a)	151 ± 6	110 ± 5	< 7,7 (a)	582 ± 82	-
Junho	Rio Mondego (Bar. Aguieira)	7 ± 2	79 ± 2	74 ± 2	5,4 ± 0,6	679 ± 29	< 35 (a)

(a) Actividade mínima detectável. Este valor depende das condições de medição;

Tabela 27 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹, músculo fresco), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em peixe capturado no rio Tejo, em Vila Velha de Ródão

Data de colheita	Espécie	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	⁴⁰ K
Janeiro	Barbus bocagei L.	< 0,2 (b)	< 0,2 (b)	< 0,3 (b)	118 ± 3
Fevereiro	Barbus bocagei L.	< 0,1 (b)	< 0,2 (b)	< 0,1 (b)	120 ± 6
Março	Barbus bocagei L.	< 0,1 (b)	< 0,2 (b)	< 0,2 (b)	114 ± 6
Abril	(a)	-	-	-	-
Maio	Barbus bocagei L.	< 0,1 (b)	< 0,3 (b)	< 0,2 (b)	124 ± 8
Junho	Barbus bocagei L.	< 0,2 (b)	< 0,2 (b)	< 0,2 (b)	123 ± 7
Julho	Barbus bocagei L.	< 0,2 (b)	< 0,2 (b)	< 0,2 (b)	124 ± 6
Agosto	(a)	-	-	-	-
Setembro	(a)	-	-	-	-
Outubro	(a)	-	-	-	-
Novembro	(a)	-	-	-	-
Dezembro	(a)	-	-	-	-

(a) - Não houve fornecimento de peixe por parte do pescador;

(b) - Actividade mínima detectável. Este valor depende das condições de medição;

Tabela 28 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹, músculo fresco), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em peixe capturado no rio Douro, na Barragem do Pocinho

Data de colheita	Espécie	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	⁴⁰ K
Junho	Barbus bocagei L.	< 0,2 (b)	< 0,2 (b)	< 0,2 (b)	108 ± 10

(b) - Actividade mínima detectável. Este valor depende das condições de medição;

Tabela 29 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹, peso fresco), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em hidrófitos colhidos no rio Douro, na Barragem do Pocinho

Data de colheita	Espécie	²³⁵ U	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	⁴⁰ K	⁷ Be
Junho	<i>Potamogetum crispus</i> L.	< 0,5 (a)	< 0,1 (a)	1,2 ± 0,1	0,6 ± 0,1	21 ± 1	< 12 (a)

(a) - Actividade mínima detectável. Este valor depende das condições de medição;

3.2. Mar

3.2.1. Material e Métodos

Procedeu-se a uma colheita anual de amostras de algas e mexilhões em 4 locais de amostragem na Costa Atlântica e num local de amostragem nos Estuários do Tejo e do Sado (Figura 1).

As amostras foram secas em estufa a 80 °C (algas) e liofilizadas (tecidos moles de mexilhão), sendo posteriormente incineradas em mufla a 450°C. A totalidade da amostra incinerada foi colocada em porta-amostras adequado e determinou-se a actividade em emissores gama, usando os sistemas de análise e calibrações, já referidos em 2.2.1.

Para a determinação dos radionuclidos emissores alfa, usou-se na análise uma amostra de cinzas com aproximadamente 10g, que corresponde normalmente à quase totalidade da amostra. Os radionuclidos foram extraídos por lixiviação ácida ($\text{HNO}_3 + \text{HCl}$) das cinzas e posteriormente separados e purificados por cromatografia com o auxílio de resinas de troca iónica (BIO-RAD). Os radionuclidos foram electrodepositados em discos de aço inox e posteriormente medidos por espectrometria α em sistema de medição OCTETE PLUS ORTEC, previamente calibrados, com fontes certificadas (QCRB 4021 Amersham).

3.2.2. Resultados e Discussão

Os resultados da actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg^{-1} , peso fresco), em mexilhões e algas colhidos na Costa Atlântica e nos estuários do Tejo e Sado estão expressos na Tabela 30.

Verifica-se que os valores da actividade específica em $^{239+240}\text{Pu}$ variam entre $(3,2 \pm 0,4) \times 10^{-3} \text{ Bq kg}^{-1}$ e $(9,5 \pm 1,2) \times 10^{-3} \text{ Bq kg}^{-1}$ em mexilhões colhidos no Estuário do Tejo e no Cabo de S. Vicente, respectivamente. Para o ^{238}Pu os valores obtidos são relativamente constantes e cerca de uma ordem de grandeza inferiores aos observados para o $^{239+240}\text{Pu}$. Relativamente aos isótopos do Urânio, ^{238}U , ^{235}U e ^{234}U verifica-se que as actividades são, em geral, relativamente constantes com valores variando, por exemplo, entre $0,43 \pm 0,01 \text{ Bq kg}^{-1}$ e $0,67 \pm 0,02 \text{ Bq kg}^{-1}$ e entre $0,017 \pm 0,002 \text{ Bq kg}^{-1}$ e $0,042 \pm 0,003 \text{ Bq kg}^{-1}$ para o ^{238}U e ^{235}U , respectivamente. O valor da razão isotópica $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ é aproximadamente 1, o que indica a existência de equilíbrio radioactivo secular. Pode observar-se, para os vários locais de amostragem uma variação de cerca de uma ordem de grandeza, nas concentrações de ^{230}Th e ^{226}Ra nos mexilhões. Os valores das actividades em ^{210}Pb e ^{137}Cs situam-se em geral, abaixo dos valores de actividade mínima detectável. Os valores da actividade específica em ^{40}K são relativamente constantes variando entre $16 \pm 6 \text{ Bq kg}^{-1}$ e $38 \pm 7 \text{ Bq kg}^{-1}$. No que se refere às algas provenientes de Matosinhos, o valor da

actividade nos radionuclidos naturais detectados é, na generalidade superior à obtida para os mexilhões.

Estes resultados, quer para os radionuclidos de origem natural, como para o plutónio, $^{239+240}\text{Pu}$, de origem artificial, são comparáveis aos resultados de anos anteriores para a costa Portuguesa (Oliveira *et al.*, 2005) e francamente mais baixos que as concentrações determinadas em espécies marinhas de outras regiões costeiras da Europa (Carvalho *et al.*, 2004).

Tabela 30 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg^{-1} , peso fresco), de radionuclidos naturais e artificiais em mexilhões e algas colhidos na Costa Atlântica e nos estuários do Tejo e Sado

Local de amostragem	Tipo de amostra	$^{239+240}\text{Pu}$	^{238}Pu	^{238}U	^{235}U	^{234}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Pb	^{137}Cs	^{40}K
Matosinhos	Mexilhões	$(6,4 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$(0,12 \pm 0,07) \times 10^{-3}$	$0,60 \pm 0,02$	$0,028 \pm 0,003$	$0,69 \pm 0,02$	$0,20 \pm 0,02$	$0,93 \pm 0,09$	$2,0 \pm 0,5$	$< 0,02$ (a)	19 ± 3
	Algas (Fucus)	-	-	$1,02 \pm 0,03$	$0,042 \pm 0,003$	$1,17 \pm 0,03$	$< 0,02$ (a)	$1,4 \pm 0,2$	-	-	-
Figueira da Foz	Mexilhões	$(7,1 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	$(0,19 \pm 0,06) \times 10^{-3}$	$0,55 \pm 0,02$	$0,025 \pm 0,002$	$0,63 \pm 0,02$	$0,29 \pm 0,02$	$0,22 \pm 0,02$	< 11 (a)	$< 0,05$ (a)	38 ± 7
Cascais	Mexilhões	$(4,4 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$(0,15 \pm 0,08) \times 10^{-3}$	$0,43 \pm 0,01$	$0,022 \pm 0,002$	$0,48 \pm 0,02$	$0,039 \pm 0,004$	$0,083 \pm 0,009$	< 11 (a)	$< 0,05$ (a)	27 ± 6
Cabo de S. Vicente	Mexilhões	$(9,5 \pm 1,2) \times 10^{-3}$	$< 0,2 \times 10^{-3}$ (a)	$0,67 \pm 0,02$	$0,032 \pm 0,003$	$0,81 \pm 0,02$	$(1,0 \pm 0,3) \times 10^{-3}$	$0,19 \pm 0,002$	< 11 (a)	$< 0,05$ (a)	16 ± 6
Estuário do Tejo	Mexilhões	$(3,2 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$< 0,2 \times 10^{-3}$ (a)	$0,57 \pm 0,02$	$0,024 \pm 0,002$	$0,61 \pm 0,02$	$0,44 \pm 0,003$	$0,29 \pm 0,03$	< 10 (a)	$< 0,05$ (a)	33 ± 6
Estuário do Sado	Mexilhões	$(3,8 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$(0,16 \pm 0,08) \times 10^{-3}$	$0,43 \pm 0,01$	$0,017 \pm 0,002$	$0,52 \pm 0,02$	$0,044 \pm 0,007$	$0,32 \pm 0,07$	$3,8 \pm 0,5$	$< 0,01$ (a)	29 ± 4

(a)– Actividade mínima detectável. Este valor depende das condições de medição;

4. RADIOACTIVIDADE EM ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO

4.1. *Material e Métodos*

Recolheram-se amostras de água para consumo humano, com uma periodicidade mensal, em Lisboa, V. Velha de Ródão e Sacavém. Recolheram-se também amostras de água em localidades seleccionadas aleatoriamente de modo a abranger todas as regiões do país. As amostras de água foram recolhidas em torneiras de distribuição ao público, acidificadas na altura da colheita, tendo-se determinado posteriormente as actividades alfa e beta totais. A metodologia utilizada segue as Normas Portuguesas para águas não salinas, NP 4332 (1996) e NP 4330 (1996) para a determinação de radioactividade alfa total e beta total, respectivamente. A medição de radioactividade alfa e beta total é feita em simultâneo num sistema de contagem α/β munido de detectores proporcionais de fluxo gasoso (TENNELEC, Canberra), previamente calibrado com padrões alfa (^{241}Am) e beta (^{40}K).

Para as águas cujos valores de actividade alfa total excederam o valor paramétrico de $0,1 \text{ Bq L}^{-1}$ (Dec. Lei 243/2001) procedeu-se à determinação dos radionuclidos das famílias naturais do Urânio (^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Po), Tório (^{232}Th , ^{228}Th) e Actínio (^{235}U). Os radionuclidos a determinar foram precipitados na amostra, sob a forma de hidróxidos, com o auxílio de um “carrier”: Manganês, para Urânio, Tório e Polónio, e Alumínio para o Rádio, na presença de traçadores isotópicos (^{232}U , ^{229}Th , ^{224}Ra , ^{209}Po). A separação e purificação radioquímica foram efectuadas com resinas de troca iónica, EICHROM para Urânio e Tório, e BIO-RAD para o Rádio. O Polónio foi depositado em disco de prata. Os restantes radionuclidos foram electrodepositados em discos de aço inox. As medidas foram efectuadas por espectrometria α em sistema de medição OCTETE PLUS (ORTEC), previamente calibrados com fontes certificadas (QCRB 4021 Amersham).

Nas amostras de água colhidas em V. Velha de Ródão e Sacavém determinou-se também a actividade em ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^3H , por medida beta.

4.2. *Resultados e Discussão*

Nas Tabelas 31 e 32 estão expressos os valores da actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L^{-1}) em ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^3H e da actividade alfa total e beta total em águas para consumo humano colhidas mensalmente em Sacavém e em V. Velha de Ródão. Na Tabela 33 apresentam-se os valores da actividade alfa total e beta total, $A \pm \sigma$ (Bq L^{-1}), em água para consumo humano colhida mensalmente em Lisboa.

Como se pode observar os valores de actividade específica em ^{137}Cs , em Sacavém, situam-se na generalidade abaixo do valor de actividade mínima detectável, com excepção do

valor de $(1,0 \pm 0,8) \times 10^{-3} \text{ Bq L}^{-1}$, obtido no mês de Junho. Em V. Velha de Ródão os valores obtidos são ligeiramente mais elevados com um valor médio anual inferior a $1 \times 10^{-3} \text{ Bq L}^{-1}$.

Relativamente ao ^{90}Sr os valores observados são relativamente constantes e superiores aos obtidos para o ^{137}Cs . Os valores da actividade específica média anual para o ^{90}Sr são de $(2,7 \pm 1,0) \times 10^{-3} \text{ Bq L}^{-1}$ em Sacavém e inferiores a $2,4 \times 10^{-3} \text{ Bq L}^{-1}$ em V. Velha de Ródão. Os valores de actividade específica em ^3H são, em geral, inferiores ao valor da actividade mínima detectável ($0,8 \text{ Bq L}^{-1}$) com um valor médio anual inferior a 1 Bq L^{-1} em ambas as estações de amostragem.

Nas Figuras 17 e 18 estão representadas as variações mensais das actividades beta e alfa totais em águas para consumo humano recolhidas em V. Velha de Ródão, Sacavém e Lisboa. Como se pode observar, os valores são relativamente constantes e inferiores aos valores recomendados para estes parâmetros radioactivos no Decreto-Lei 243/2001 de 5 de Setembro (alfa total: $0,1 \text{ Bq L}^{-1}$; beta total: 1 Bq L^{-1}), com excepção para as águas recolhidas em V. Velha de Ródão, que apresentam valores, para a medida alfa total, superiores ao valor estipulado por lei. Esta água tem origem em captação própria e estando situada na região granítica de Nisa, é expectável poderem existir radionuclidos das famílias naturais do Urânio, emissores alfa, em concentrações mais elevadas. A mesma tendência foi observada em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2005).

Os valores de actividade alfa e beta total, $A \pm \sigma$ (Bq L^{-1}), em águas recolhidas aleatoriamente em vários locais do país estão apresentados na Tabela 34 e nas Figuras 19 e 20. Verifica-se que os valores dos parâmetros radioactivos se situam abaixo dos valores estipulados por Lei excepto, para a medida alfa total, para as águas recolhidas na Figueira da Foz ($1,065 \pm 0,066 \text{ Bq L}^{-1}$), Alandroal ($0,110 \pm 0,050 \text{ Bq L}^{-1}$), Granja ($1,163 \pm 0,112 \text{ Bq L}^{-1}$), Barca d'Alva ($0,307 \pm 0,043 \text{ Bq L}^{-1}$), Amarante ($0,529 \pm 0,036 \text{ Bq L}^{-1}$) e Ourique ($0,122 \pm 0,054 \text{ Bq L}^{-1}$).

O Instituto Regulador de Águas e Resíduos, autoridade competente para a qualidade de água para consumo humano em Portugal, recomenda na Nota Técnica 2004/IRAR/DQA/NG/0344 que, se a actividade alfa total for superior a $0,1 \text{ Bq L}^{-1}$ ou a actividade beta total superior a 1 Bq L^{-1} se deve proceder à determinação da concentração dos radionuclidos específicos presentes na água e, posteriormente, ao cálculo da Dose Indicativa Total (DIT). A Dose Indicativa Total corresponde à dose efectiva recebida por um elemento do público devida à incorporação, durante um ano, de radionuclidos naturais e artificiais presentes na água para consumo humano.

Os valores das actividades específicas dos radionuclidos das famílias naturais do Urânio (^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Po), Tório (^{232}Th , ^{228}Th) e Actínio (^{235}U) estão expressos na Tabela 35.

Da análise da tabela constata-se que os valores são bastante variáveis podendo atingir cerca de duas ordens de grandeza de diferença para alguns radionuclidos. Podem observar-se também valores relativamente elevados como, por exemplo, os valores das concentrações de actividade em ^{238}U ($93,0\pm 8,0$) mBq L^{-1} , ^{234}U (650 ± 40) mBq L^{-1} e ^{226}Ra (144 ± 14) mBq L^{-1} na água da Granja. A razão isotópica $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ apresenta valores que variam entre 1 (Amarante) a 7 (Granja). O valor mais elevado sugere que a água proveniente dos aquíferos do Alentejo (Granja) é uma água mais antiga. Resultados semelhantes foram observados em águas provenientes de outras regiões do Alentejo (Lopes *et al.*, 2005). Verifica-se a não existência de equilíbrio radioactivo entre o ^{238}U e os seus descendentes, ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra e ^{210}Po , o que é explicado pelo diferentes graus de solubilidade e comportamento químico destes elementos em solução (Carvalho *et al.*, 2004). O grau de solubilidade destes radionuclidos depende da composição geológica do maciço rochoso e das condições hidroquímicas do meio, os quais são variáveis de local para local.

Da análise dos resultados pode observar-se que o somatório das concentrações de actividade nos radionuclidos específicos (Tabela 35) é inferior ao valor da actividade alfa total (Tabela 34). Tal facto é devido a não terem sido determinadas as concentrações de todos os radionuclidos emissores alfa que contribuem para a actividade alfa total.

Os valores de Dose Indicativa Total calculados a partir das concentrações na água dos radionuclidos das famílias radioactivas do Urânio, Tório e Actínio, dos coeficientes de dose para adulto e, por radionuclido, fixados no Anexo III, do Quadro A da Directiva 96/29/EURATOM e do consumo anual de água *per capita* estão expressos na Tabela 35. Os valores variam entre $0,012 \text{ mSv a}^{-1}$ e $0,057 \text{ mSv a}^{-1}$, sendo o valor mais elevado inferior, cerca de metade, ao valor paramétrico, $0,1 \text{ mSv a}^{-1}$ estipulado no Decreto-Lei 243/2001 de 5 de Setembro. Assim sendo, estas águas poderão ser consumidas sem qualquer restrição.

Para as águas provenientes de Sacavém e V. Velha de Ródão determinou-se também a contribuição para a dose devida aos radionuclidos artificiais ^{90}Sr , ^{137}Cs e ^3H .

Com base nas médias anuais das actividades em ^{90}Sr , ^{137}Cs e ^3H determinadas na água de consumo colhida em Sacavém e em V. Velha de Ródão (Tabelas 31 e 32), considerando os respectivos factores de dose de $2,8\times 10^{-8}$, $1,3\times 10^{-8}$ e $1,8\times 10^{-11} \text{ Sv Bq}^{-1}$ (Basic Safety Standards, 1996; ICRP, 1996) e um consumo anual *per capita* de 730 litros (WHO) obtiveram-se os valores de $0,073 \mu\text{Sv a}^{-1}$ e $0,072 \mu\text{Sv a}^{-1}$ para a dose devida à ingestão de

água de consumo em Sacavém e V. Velha de Ródão, respectivamente. Estes valores são idênticos aos obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2003, 2004 & 2005).

Na Finlândia, os valores de dose de radiação devido à ingestão dos radionuclídeos ^{90}Sr , ^{137}Cs e ^3H através da água de consumo, durante o ano de 2003, variaram entre 0,7 e 5 $\mu\text{Sv a}^{-1}$ (STUK-B-TKO5, 2004).

Tabela 31 – Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ³H, alfa total e beta total, em água para consumo humano colhida em Sacavém

Data de colheita	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	³ H	Alfa Total	Beta Total
Janeiro	< 0,5 × 10 ⁻³ (a)	(3,5 ± 0,6) × 10 ⁻³	< 0,8 (b)	0,080 ± 0,032	0,085 ± 0,013
Fevereiro	< 0,5 × 10 ⁻³ (a)	(2,7 ± 0,5) × 10 ⁻³	1,4 ± 0,7	0,037 ± 0,015	0,066 ± 0,007
Março	< 0,6 × 10 ⁻³ (a)	(2,8 ± 0,5) × 10 ⁻³	< 0,8 (b)	0,059 ± 0,018	0,052 ± 0,007
Abril	< 0,7 × 10 ⁻³ (a)	(3,6 ± 0,6) × 10 ⁻³	< 0,8 (b)	0,057 ± 0,017	0,061 ± 0,007
Maió	< 0,7 × 10 ⁻³ (a)	(2,1 ± 0,7) × 10 ⁻³	< 0,8 (b)	0,039 ± 0,016	0,075 ± 0,008
Junho	(1,0 ± 0,8) × 10 ⁻³	(3,0 ± 0,5) × 10 ⁻³	< 0,8 (b)	0,070 ± 0,017	0,072 ± 0,007
Julho	< 0,5 × 10 ⁻³ (a)	(1,6 ± 0,3) × 10 ⁻³	1,4 ± 0,7	0,030 ± 0,015	0,073 ± 0,007
Agosto	< 0,5 × 10 ⁻³ (a)	(2,3 ± 0,4) × 10 ⁻³	< 0,8 (b)	0,047 ± 0,015	0,089 ± 0,007
Setembro	< 0,3 × 10 ⁻³ (a)	(2,2 ± 0,4) × 10 ⁻³	< 0,8 (b)	0,028 ± 0,011	0,071 ± 0,006
Outubro	< 0,6 × 10 ⁻³ (a)	(3,3 ± 0,4) × 10 ⁻³	< 0,8 (b)	0,035 ± 0,011	0,077 ± 0,006
Novembro	< 0,4 × 10 ⁻³ (a)	(4,6 ± 0,5) × 10 ⁻³	1,7 ± 0,9	0,033 ± 0,019	0,083 ± 0,009
Dezembro	< 0,3 × 10 ⁻³ (a)	(1,1 ± 0,4) × 10 ⁻³	< 0,8 (b)	0,056 ± 0,016	0,062 ± 0,006
Média ± σ	< 0,5 × 10 ⁻³ (n=12)	(2,7 ± 1,0) × 10 ⁻³ (n=11)	< 1,0 (n=12)	0,048 ± 0,017 (n=12)	0,072 ± 0,011 (n=12)

(a) Actividade mínima detectável em ¹³⁷Cs;

(b) Actividade mínima detectável em ³H;

Tabela 32 - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ³H, alfa total e beta total em água para consumo humano colhida em V. Velha de Ródão

Data de colheita	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	³ H	Alfa Total	Beta Total
Janeiro	$(0,9 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	$(1,8 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	< 0,8 (c)	$0,245 \pm 0,018$	$0,108 \pm 0,005$
Fevereiro	< $0,5 \times 10^{-3}$ (a)	< $0,5 \times 10^{-3}$ (b)	< 0,8 (c)	$0,212 \pm 0,017$	$0,111 \pm 0,005$
Março	< $0,7 \times 10^{-3}$ (a)	$(3,9 \pm 0,7) \times 10^{-3}$	< 0,8 (c)	$0,206 \pm 0,018$	$0,132 \pm 0,006$
Abril	< $0,7 \times 10^{-3}$ (a)	$(2,0 \pm 0,7) \times 10^{-3}$	< 0,8 (c)	$0,220 \pm 0,019$	$0,119 \pm 0,006$
Maió	< $0,5 \times 10^{-3}$ (a)	$(0,9 \pm 0,2) \times 10^{-3}$	$2,2 \pm 0,6$	$0,209 \pm 0,016$	$0,105 \pm 0,005$
Junho	$(2,1 \pm 0,9) \times 10^{-3}$	$(2,3 \pm 0,3) \times 10^{-3}$	< 0,8 (c)	$0,178 \pm 0,018$	$0,124 \pm 0,006$
Julho	$(1,1 \pm 0,9) \times 10^{-3}$	$(4,4 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	(d)	$0,225 \pm 0,024$	$0,173 \pm 0,008$
Agosto	$(2,7 \pm 1,0) \times 10^{-3}$	$(1,5 \pm 0,3) \times 10^{-3}$	< 0,8 (c)	$0,158 \pm 0,018$	$0,109 \pm 0,006$
Setembro	< $0,5 \times 10^{-3}$ (a)	$(2,9 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	< 0,8 (c)	$0,215 \pm 0,017$	$0,112 \pm 0,005$
Outubro	< $0,7 \times 10^{-3}$ (a)	$(2,7 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	< 0,8 (c)	$0,231 \pm 0,025$	$0,161 \pm 0,008$
Novembro	< $0,4 \times 10^{-3}$ (a)	$(1,8 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$1,7 \pm 0,9$	$0,205 \pm 0,017$	$0,116 \pm 0,005$
Dezembro	$(1,2 \pm 0,8) \times 10^{-3}$	$(4,1 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	< 0,8 (c)	$0,210 \pm 0,024$	$0,192 \pm 0,009$
Média$\pm\sigma$	< $1,0 \times 10^{-3}$ (n=12)	< $2,4 \times 10^{-3}$ (n=12)	< 1,0 (n=11)	$0,210 \pm 0,023$ (n=12)	$0,130 \pm 0,029$ (n=12)

(a) Actividade mínima detectável em ¹³⁷Cs;(b) Actividade mínima detectável em ⁹⁰Sr;(c) Actividade mínima detectável em ³H;

(d) Perda da amostra;

Tabela 33 - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em alfa total e beta total em água para consumo humano colhida em Lisboa

Data de colheita	Alfa Total	Beta Total
Janeiro	0,039 ± 0,014	0,053 ± 0,006
Fevereiro	0,036 ± 0,013	0,059 ± 0,006
Março	0,067 ± 0,019	0,088 ± 0,008
Abril	0,054 ± 0,017	0,070 ± 0,007
Mai	0,048 ± 0,017	0,060 ± 0,007
Junho	0,064 ± 0,019	0,095 ± 0,009
Julho	0,077 ± 0,024	0,092 ± 0,010
Agosto	0,065 ± 0,018	0,086 ± 0,008
Setembro	0,047 ± 0,016	0,090 ± 0,008
Outubro	0,027 ± 0,016	0,089 ± 0,008
Novembro	0,021 ± 0,016	0,094 ± 0,008
Dezembro	0,043 ± 0,017	0,085 ± 0,008
Média ± σ (n=12)	0,049 ± 0,017	0,080 ± 0,015

Tabela 34 - Valores de actividade específica, $A \pm \sigma$ (Bq L⁻¹), em alfa total e beta total em água para consumo humano colhida em vários locais do país

Data de colheita	Local de amostragem	Alfa Total	Beta Total
Mai	Grândola	0,034 ± 0,012	0,062 ± 0,005
	Figueira da Foz	1,065 ± 0,066	0,488 ± 0,018
	Lagos	0,057 ± 0,021	0,143 ± 0,010
	Alcácer do Sal	0,044 ± 0,030	0,081 ± 0,012
	Odemira	0,016 ± 0,014	0,060 ± 0,007
	Setúbal	0,090 ± 0,020	0,143 ± 0,009
	Portalegre	0,018 ± 0,010	0,024 ± 0,004
	Alandroal	0,110 ± 0,050	0,052 ± 0,016
	Granja	1,163 ± 0,112	0,279 ± 0,025
Junho	Barca d'Alva	0,307 ± 0,043	0,223 ± 0,015
Outubro	Bragança	0,015 ± 0,008	0,022 ± 0,004
	Macedo de Cavaleiros	0,016 ± 0,006	0,030 ± 0,003
	Amarante	0,529 ± 0,036	0,337 ± 0,011
	Mirandela	0,025 ± 0,007	0,068 ± 0,004
	Porto	0,059 ± 0,017	0,132 ± 0,009
	Vila Nova de Gaia	0,078 ± 0,020	0,144 ± 0,010
	Mêda	< 0,015 (a)	0,039 ± 0,004
	Celorico da Beira	0,049 ± 0,014	0,111 ± 0,007
	Castelo Branco	0,018 ± 0,008	0,055 ± 0,004
Portalegre	< 0,015 (a)	0,023 ± 0,006	
Novembro	Albufeira	< 0,015 (a)	0,019 ± 0,016
	Beja	< 0,015 (a)	0,117 ± 0,033
	Faro	< 0,015 (a)	0,069 ± 0,013
	Ferreira do Alentejo	0,078 ± 0,048	0,021 ± 0,017
	Castro Verde	0,022 ± 0,020	0,123 ± 0,012
	Ourique	0,122 ± 0,054	0,078 ± 0,021

(a) Actividade mínima detectável;

Tabela 35 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (mBq L⁻¹), dos radionuclidos das famílias naturais do Urânio, Actínio e Tório e valores da Dose Indicativa Total (DIT) expressos em mSv a⁻¹ em águas para consumo humano recolhidas em vários locais do país

Local de amostragem	²³⁸ U	²³⁵ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Po	²³² Th	²²⁸ Th	DIT
Barca d' Alva	74,1 ± 3,3	3,1 ± 0,3	103 ± 4	0,5 ± 0,2	32,6 ± 9,9	27,2 ± 7,3	0,3 ± 0,1	4,2 ± 0,5	0,037
Figueira da Foz	8,7 ± 0,4	0,35 ± 0,06	10,1 ± 0,4	0,4 ± 0,2	59,3 ± 10,2	10,2 ± 0,4	0,2 ± 0,2	0,52 ± 0,09	0,022
V. Velha de Rodão	1,36 ± 0,06	0,04 ± 0,01	2,6 ± 0,1	<0,02	27,4 ± 0,6	7,2 ± 0,4	<0,02	<0,02	0,012
Amarante	88,1 ± 2,4	3,9 ± 0,2	87,4 ± 2,4	<0,2	78,8 ± 2,9	10,6 ± 0,5	0,03 ± 0,01	<0,2	0,032
Granja	93,0 ± 8,0	4,7 ± 1,0	650 ± 40	0,4 ± 0,3	144 ± 14	1,3 ± 0,2	0,2 ± 0,2	<3	0,057

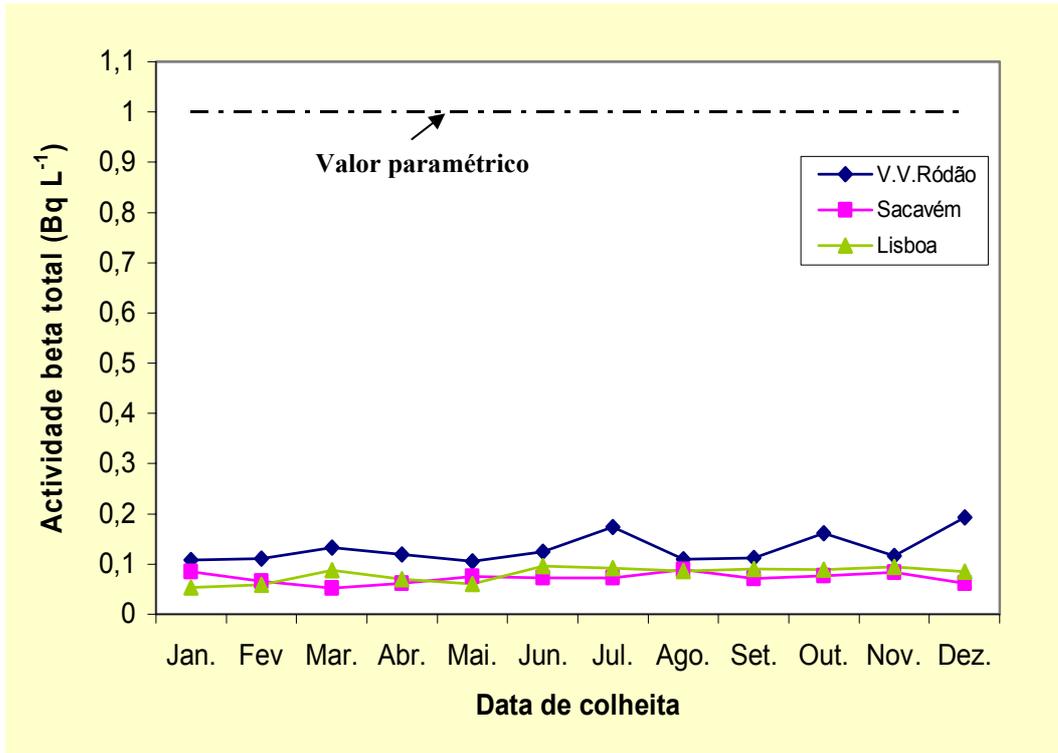


Figura 17 - Variação da actividade beta total (Bq L⁻¹) em águas para consumo humano

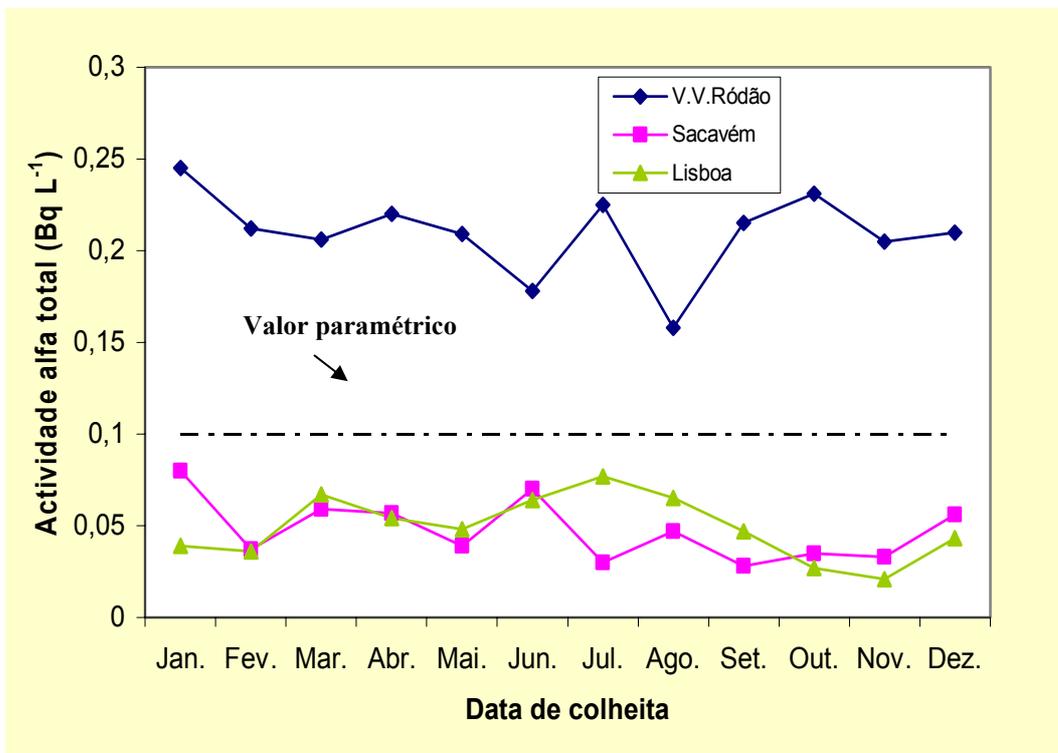


Figura 18 - Variação da actividade alfa total (Bq L⁻¹) em águas para consumo humano

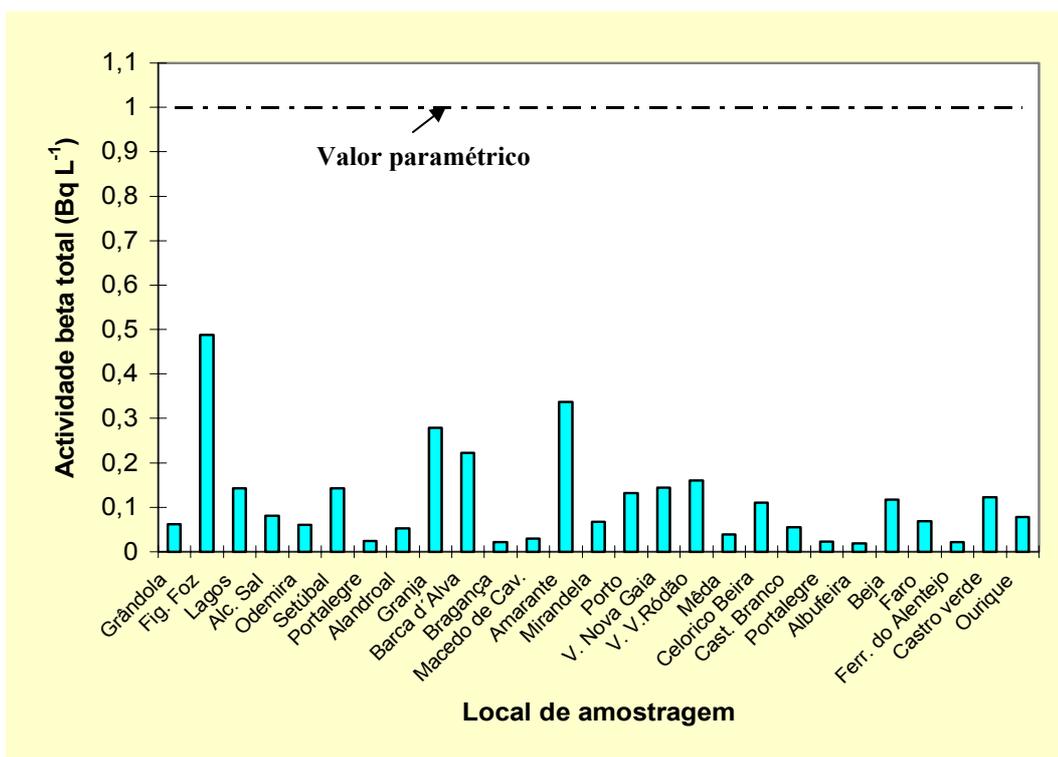


Figura 19 - Actividade beta total (Bq L⁻¹) em águas para consumo humano colhidas em várias regiões do país

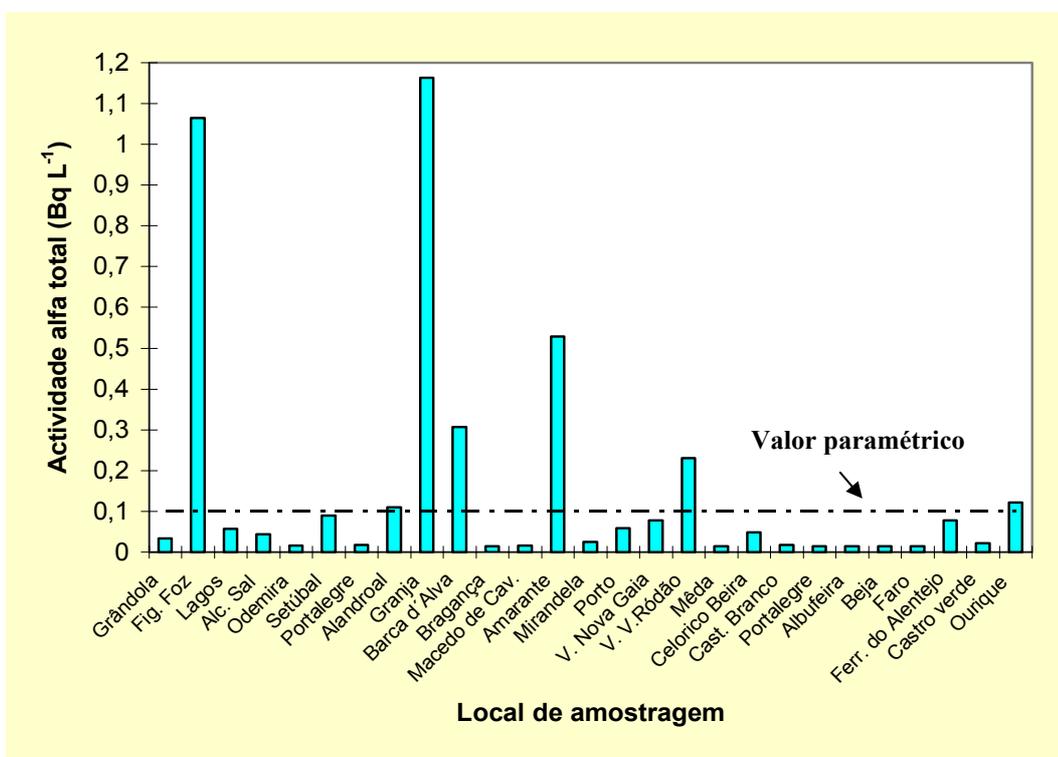


Figura 20 - Actividade alfa total (Bq L⁻¹) em águas para consumo humano colhidas em várias regiões do país

5. RADIOACTIVIDADE EM COMPONENTES DA CADEIA ALIMENTAR

5.1. Material e Métodos

Dieta Mista e Refeições Completas

A recolha de amostras dos diferentes componentes da cadeia alimentar (carne, fruta, vegetal, tubérculo) consistiu na obtenção de: *i*) amostras semestrais destes componentes (carne, fruta, vegetal, tubérculo) recolhidas no produtor, provenientes das sete Direcções Regionais de Agricultura do Continente, da Inspeção Regional das Actividades Económicas dos Açores e da Secretaria Regional do Ambiente e Recursos Naturais da Madeira; *ii*) 3 amostras anuais de produtos (carne, fruta, vegetal, tubérculo) adquiridos na região de V. Velha de Ródão; e, *iii*) amostras semestrais (carne, fruta, vegetal, farinha, peixe, marisco) adquiridas em supermercados da área de Lisboa (Figura 1). Com este plano, procurou-se que as amostragens dos diferentes componentes fossem as mais representativas possíveis da situação nacional.

As amostras de refeições completas foram recolhidas, trimestralmente, na cantina do ITN no *campus* de Sacavém, cujo abastecimento é efectuado por uma empresa que recorre aos mercados da zona de Lisboa. A composição de cada amostra está descrita na Tabela 37.

As amostras dos componentes da cadeia alimentar e as refeições completas foram triturados, homogeneizados e colocados em porta-amostras de 1 litro com a geometria “Marinelli”. As medições de radioactividade foram efectuadas, por espectrometria gama.

Leite

Foram analisadas amostras mensais de leite, adquiridas directamente ao produtor, através das Direcções Regionais de Agricultura do Continente, da Inspeção Regional das Actividades Económicas dos Açores e da Secretaria Regional do Ambiente e Recursos Naturais da Madeira. Procedeu-se também à análise de uma amostra mensal de leite da região de V. Velha de Ródão.

Determinou-se a actividade específica em ^{137}Cs , ^{40}K e ^{90}Sr nestas amostras. Para a determinação das actividades devidas ao ^{137}Cs e ^{40}K , foi utilizada como metodologia, a análise por espectrometria gama (geometria “Marinelli”) efectuada directamente numa amostra de 1 litro de leite cru.

Para a determinação do ^{90}Sr , seguiu-se uma técnica radioquímica baseada em separações e purificações sucessivas e medição da actividade do seu descendente ^{90}Y , em equilíbrio radioactivo com o ^{90}Sr , num sistema de medição beta de baixo fundo HT1000, já referido em 2.2.1.

5.2. Resultados e Discussão

Dieta Mista e Refeições Completas

Na Tabela 36 estão expressos os valores das actividades específicas, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg^{-1}), dos radionuclidos artificiais (^{137}Cs) e naturais (^{40}K e ^7Be) detectados em produtos da cadeia alimentar recolhidos mensalmente em várias regiões de Portugal Continental, na Madeira e nos Açores.

Da análise dos resultados constata-se que a actividade específica em ^{137}Cs se situa abaixo dos valores da actividade mínima detectável (0,1-0,3 Bq kg^{-1} , dependendo das condições de medição), com excepção de algumas amostras onde a actividade em ^{137}Cs é mensurável, mas em que os valores são da ordem de grandeza da actividade mínima detectável. O ^{40}K , apresenta valores mais elevados, que variam entre $14 \pm 7 \text{ Bq kg}^{-1}$ (batata proveniente da Direcção Regional de Agricultura do Ribatejo e Oeste) e $180 \pm 9 \text{ Bq kg}^{-1}$ (couve proveniente da Direcção Regional de Agricultura de Trás-os-Montes). Relativamente ao ^7Be , os valores são na grande maioria inferiores ao valor da actividade mínima detectável, que varia entre 0,6 e 3,1 Bq kg^{-1} , dependendo das condições de medição utilizadas. Foram detectados vestígios de ^7Be em duas amostras de couve provenientes das Direcções Regionais de Agricultura da Beira Interior e do Ribatejo e Oeste. Sendo o ^7Be um radionuclido de origem cósmica ao ser transportado pela água da chuva poderá depositar-se na biosfera e principalmente em produtos da cadeia alimentar (vegetais) mais sujeitos a essa deposição.

Os resultados em ^{137}Cs , ^{40}K e ^7Be são consistentes com medidas efectuadas em anos anteriores em produtos da cadeia alimentar (Sequeira *et al.*, 2002; Madruga *et al.*, 2003, 2004 & 2005).

Outros autores (RIFE-9, 2004) apresentam para a dieta mista valores médios variando entre 71 e 93 Bq kg^{-1} para o ^{40}K e valores inferiores a 0,1 Bq kg^{-1} para o ^{137}Cs . Valores médios anuais em ^{137}Cs de 2,3, 0,6, 0,4 e 0,5 Bq kg^{-1} foram reportados para carne, batatas, cebolas e fruta, respectivamente (Grabowski, 2000).

Os valores da actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg^{-1}), em refeições completas adquiridas no refeitório do ITN estão expressos na Tabela 37.

Da análise dos resultados pode constatar-se que os valores de actividade específica em ^{137}Cs e ^7Be são inferiores aos valores da actividade mínima detectável e idênticos aos obtidos para os componentes da cadeia alimentar individualizados. No que se refere ao ^{40}K os valores são relativamente constantes situando-se na gama dos valores obtidos para os componentes da cadeia alimentar individualizados. Resultados semelhantes foram obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2003, 2004 & 2005).

No Reino Unido (RIFE-9, 2004; RIFE-10, 2005) foram observados valores inferiores a 0,06 e 0,05 Bq kg⁻¹ para o ¹³⁷Cs em amostras de refeições completas adquiridas em cantinas, durante os anos de 2003 e 2004 respectivamente. Os mesmos autores reportam para o ⁴⁰K valores que variam entre 90 e 95 Bq kg⁻¹ em 2003, e entre 81 e 120 Bq kg⁻¹, em 2004.

Quanto à contribuição para a dose de radiação devida à ingestão da dieta mista, e tendo em conta que na grande maioria dos casos, a radioactividade referente aos radionuclídeos artificiais é inferior à actividade mínima detectável (Tabelas 36 e 37) a dose devida à ingestão de ¹³⁷Cs deverá ser inferior a 2 µSv a⁻¹.

Alguns autores (STUK-B-TKO5, 2004) apresentam o valor inferior a 20 µSv para a dose de radiação em ¹³⁷Cs devida à ingestão de produtos da cadeia alimentar durante o ano de 2003.

Tabela 36 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹, peso fresco), dos radionuclídeos ¹³⁷Cs, ⁴⁰K e ⁷Be em produtos da cadeia alimentar

Data de colheita	Proveniência	Produto	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be	
Janeiro	Supermercado (Lisboa)	Alface	< 0,3 (a)	170 ± 6	< 2,2 (a)	
		Laranja	< 0,1 (a)	42 ± 2	< 1,1 (a)	
		Farinha de trigo	< 0,3 (a)	50 ± 4	< 2,4 (a)	
		Amêijoa	< 0,2 (a)	58 ± 3	< 1,2 (a)	
		Carapau	0,2 ± 0,1	95 ± 5	< 1,9 (a)	
		Carne (Frango)	< 0,3 (a)	119 ± 5	< 1,8 (a)	
Fevereiro	Direcção Regional de Agricultura do Alentejo	Couve	< 0,1 (a)	128 ± 2	< 1,0 (a)	
		Batata	< 0,2 (a)	149 ± 4	< 1,3 (a)	
		Laranja	< 0,1 (a)	50 ± 2	< 0,6 (a)	
		Carne (Bovino)	< 0,1 (a)	100 ± 2	< 0,8 (a)	
	Região de V. Velha de Ródão	Couve	< 0,2 (a)	106 ± 7	< 2,0 (a)	
		Batata	< 0,1 (a)	112 ± 2	< 0,8 (a)	
		Laranja	< 0,2 (a)	42 ± 3	< 1,8 (a)	
		Carne (Suíno)	< 0,3 (a)	123 ± 5	< 1,8 (a)	
	Direcção Regional de Agricultura Entre Douro e Minho	Couve	< 0,2 (a)	68 ± 3	< 1,2 (a)	
		Cebola	< 0,3 (a)	49 ± 4	< 1,8 (a)	
		Maçã	< 0,3 (a)	34 ± 3	< 1,9 (a)	
		Carne (Bovino)	< 0,1 (a)	123 ± 4	< 1,1 (a)	
	Direcção Regional de Agricultura da Região Autónoma da Madeira	Couve	< 0,2 (a)	82 ± 4	< 1,3 (a)	
		Batata	< 0,3 (a)	144 ± 5	< 2,1 (a)	
		Maçã	0,3 ± 0,1	28 ± 2	< 1,3 (a)	
		Carne (Suíno)	< 0,3 (a)	126 ± 5	< 1,9 (a)	
	Março	Direcção Regional de Agricultura do Algarve	Couve	< 0,1 (a)	96 ± 4	< 1,3 (a)
			Laranja	< 0,1 (a)	45 ± 2	< 1,1 (a)
Carne (Bovino)			< 0,2 (a)	105 ± 3	< 1,1 (a)	
Direcção Regional de Agricultura de Trás-os-Montes		Couve	< 0,2 (a)	101 ± 4	< 1,3 (a)	
		Batata	< 0,3 (a)	153 ± 5	< 2,0 (a)	
		Laranja	< 0,1 (a)	45 ± 2	< 1,1 (a)	
		Carne (Bovino)	< 0,2 (a)	105 ± 3	< 1,1 (a)	
Abril		Direcção Regional de Agricultura da Beira Litoral	Couve	< 0,3 (a)	66 ± 4	< 2,1 (a)
	Batata		< 0,3 (a)	109 ± 14	< 2,4 (a)	
	Laranja		< 0,1 (a)	51 ± 2	< 1,1 (a)	
	Carne (Suíno)		< 0,3 (a)	116 ± 5	< 1,9 (a)	
	Inspeção Regional das Actividades Económicas dos Açores (São Miguel)	Couve	0,9 ± 0,1	124 ± 15	< 1,2 (a)	
		Batata	< 0,2 (a)	148 ± 4	< 1,2 (a)	
		Banana	< 0,1 (a)	135 ± 4	< 1,3 (a)	
		Carne (Bovino)	0,25 ± 0,05	103 ± 3	< 1,1 (a)	

(a) Actividade mínima detectável. Este valor depende das condições de medição;

Tabela 36- continuação

Data de colheita	Proveniência	Produto	^{137}Cs	^{40}K	^7Be
Mai	Direcção Regional de Agricultura do Ribatejo e Oeste	Couve	< 0,2 (a)	76 ± 3	< 1,2 (a)
		Batata	< 0,2 (a)	126 ± 4	-
		Maçã	< 0,3 (a)	36 ± 3	< 1,9 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,3 (a)	116 ± 5	< 1,8 (a)
Julho	Direcção Regional de Agricultura do Alentejo	Beldroegas	< 0,2 (a)	162 ± 7	< 1,5 (a)
		Batata	< 0,3 (a)	171 ± 6	< 2,1 (a)
		Figo	< 0,2 (a)	82 ± 4	< 2,0 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,2 (a)	103 ± 3	< 1,2 (a)
Julho	Supermercado (Lisboa)	Tomate	< 0,2 (a)	42 ± 3	< 1,1 (a)
		Melão	< 0,2 (a)	82 ± 5	< 1,2 (a)
		Farinha de trigo	< 0,3 (a)	52 ± 4	< 2,2 (a)
		Amêijoa	< 0,2 (a)	63 ± 4	< 2,2 (a)
		Sardinha	< 0,3 (a)	110 ± 5	< 2,2 (a)
		Carne (Frango)	< 0,1 (a)	107 ± 14	< 1,6 (a)
	Região de V. Velha de Ródão	Feijão Verde	< 0,2 (a)	75 ± 4	< 1,2 (a)
		Batata	< 0,2 (a)	172 ± 5	< 1,3 (a)
		Ameixas	< 0,2 (a)	65 ± 4	< 1,2 (a)
		Carne (Suíno)	< 0,3 (a)	119 ± 5	< 2,0 (a)
Agosto	Direcção Regional de Agricultura da Região Autónoma da Madeira	Couve	< 0,2 (a)	72 ± 3	< 1,3 (a)
		Batata	0,2 ± 0,1	142 ± 4	< 1,2 (a)
		Maçã	< 0,3 (a)	26 ± 3	< 1,9 (a)
		Carne (Suíno)	< 0,1 (a)	74 ± 2	< 0,9 (a)
Setembro	Direcção Regional de Agricultura do Algarve	Couve	0,2 ± 0,1	136 ± 4	< 1,5 (a)
		Batata	< 0,2 (a)	148 ± 8	< 1,5 (a)
		Tangerina	< 0,1 (a)	42 ± 2	< 1,2 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,1 (a)	99 ± 3	< 1,3 (a)
Outubro	Direcção Regional de Agricultura de Trás-os-Montes	Couve	< 0,2 (a)	180 ± 9	< 1,2 (a)
		Batata	< 0,2 (a)	116 ± 15	< 1,6 (a)
		Pêra	< 0,1 (a)	35 ± 2	< 1,1 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,2 (a)	101 ± 13	< 1,9 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,3 (a)	93 ± 4	< 3,1 (a)
		Carne (Bovino)	0,19 ± 0,05	107 ± 27	< 2,3 (a)
		Direcção Regional de Agricultura da Beira Litoral	Couve	< 0,3 (a)	52 ± 4
	Cebola		< 0,1 (a)	27 ± 3	< 0,8 (a)
	Laranja		< 0,2 (a)	71 ± 3	< 1,3 (a)
	Carne (Suíno)		< 0,2 (a)	122 ± 5	< 1,2 (a)
	Direcção Regional de Agricultura entre Douro e Minho	Couve	< 0,4 (a)	131 ± 6	< 2,5 (a)
		Cebola	< 0,1 (a)	45 ± 2	< 1,2 (a)
		Maçã	< 0,2 (a)	29 ± 2	< 1,3 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,2 (a)	95 ± 12	< 1,7 (a)

(a) Actividade mínima detectável. Este valor depende das condições de medição;

Tabela 36- continuação

Data de colheita	Proveniência	Produto	^{137}Cs	^{40}K	^7Be
Novembro	Região de V. Velha de Ródão	Couve	< 0,2 (a)	67 ± 3	< 1,3 (a)
		Batata	< 0,2 (a)	179 ± 5	< 1,3 (a)
		Diospiros	< 0,2 (a)	85 ± 11	< 1,4 (a)
		Carne (Suíno)	< 0,3 (a)	115 ± 5	< 1,9 (a)
	Direcção Regional de Agricultura da Beira Interior	Couve	< 0,2 (a)	112 ± 6	7 ± 1
		Batata	< 0,2 (a)	163 ± 7	< 1,3 (a)
		Laranja	< 0,3 (a)	38 ± 3	< 2,0 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,2 (a)	116 ± 6	< 1,4 (a)
	Inspeccção Regional das Actividades Económicas dos Açores (São Miguel)	Alface	< 0,2 (a)	129 ± 7	< 1,4 (a)
		Batata	< 0,2 (a)	135 ± 6	< 1,2 (a)
		Banana	< 0,3 (a)	124 ± 5	< 2,3 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,1 (a)	92 ± 3	< 1,2 (a)
Dezembro	Direcção Regional de Agricultura do Ribatejo e Oeste	Couve	< 0,3 (a)	73 ± 4	1,6 ± 0,6
		Batata	< 0,2 (a)	14 ± 7	< 1,4 (a)
		Pêra	< 0,1 (a)	35 ± 2	< 1,0 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,3 (a)	113 ± 5	< 1,9 (a)

Tabela 37 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹, peso fresco), dos radionuclídeos ^{137}Cs , ^{40}K e ^7Be em refeições completas adquiridas no refeitório do ITN

Data de Colheita	Composição da refeição	^{137}Cs	^{40}K	^7Be
Março	Sopa de caldo verde, carne de vaca estufada, arroz branco, pão e maçã	0,2 ± 0,1	59 ± 3	< 1,7 (a)
Junho	Sopa de legumes com lombardo, carne de vaca estufada, batata cozida, pão e maçã	< 0,1 (a)	55 ± 2	< 1,1 (a)
Setembro	Sopa de legumes, massa com carne de vaca, pão, maçã	< 0,2 (a)	63 ± 3	< 1,0 (a)
Dezembro	Sopa de legumes, almôndegas de carne de vaca, arroz branco, pão, maçã	< 0,1 (a)	50 ± 3	< 1,1 (a)

(a) Actividade mínima detectável. Este valor depende das condições de medição;

Leite

Na Tabela 38 estão presentes os valores de actividade específica, A (Bq L^{-1}) em ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^{40}K em leite proveniente de várias regiões de Portugal Continental e das Ilhas.

Verifica-se que os valores de actividade específica em ^{137}Cs são, em geral, inferiores ao valor da actividade mínima detectável, $0,1\text{-}0,3 \text{ Bq L}^{-1}$ dependendo das condições de medição. Observam-se alguns vestígios deste radionuclido, $0,3\pm 0,1 \text{ Bq L}^{-1}$ e $0,4\pm 0,1 \text{ Bq L}^{-1}$, em duas amostras de leite, provenientes dos Açores, colhidas nos meses de Abril e Novembro respectivamente. Relativamente ao ^{90}Sr os valores encontrados são, na generalidade, superiores aos valores da actividade mínima detectável (valores variáveis que dependem do fundo radioactivo e do rendimento químico da análise). Os valores da actividade em ^{90}Sr variam entre $0,010\pm 0,007 \text{ Bq L}^{-1}$ determinado em leite proveniente de Trás-os-Montes, no mês de Outubro, até ao valor máximo de $0,067\pm 0,010 \text{ Bq L}^{-1}$, medido em leite proveniente do Açores, no mês de Abril. Os valores em ^{40}K , radionuclido de origem natural, são mais elevados do que os obtidos para o ^{137}Cs e ^{90}Sr e relativamente constantes variando entre $39\pm 5 \text{ Bq L}^{-1}$ e $61\pm 3 \text{ Bq L}^{-1}$.

Alguns autores (RPII-02/2, 2002) reportam o valor médio de $0,04 \text{ Bq L}^{-1}$ para a actividade em ^{90}Sr durante os anos de 1999 e 2000. No Reino Unido (RIFE-9, 2004) foram observados valores inferiores a $0,27 \text{ Bq L}^{-1}$ para o ^{137}Cs e valores entre $0,011$ e $0,037 \text{ Bq L}^{-1}$ para o ^{90}Sr em amostras de leite referentes ao ano de 2003. Para o ano de 2004, os mesmos autores (RIFE 10, 2005) reportam valores da mesma ordem de grandeza. Na Polónia, em 1999, a actividade média anual em ^{137}Cs no leite, variou entre valores inferiores a $0,1$ e $5,0 \text{ Bq L}^{-1}$ (Grabowski, *et al*, 2000). Valores médios anuais variando entre $0,007$ e $0,078 \text{ Bq L}^{-1}$ para o ^{137}Cs e entre $0,006$ e $0,060 \text{ Bq L}^{-1}$ para o ^{90}Sr , dependendo dos locais de amostragem, foram observados em Espanha (CSN; 2004).

Os valores de actividade específica, A (Bq L^{-1}), em ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^{40}K em amostras de leite recolhidas mensalmente na região de V. Velha de Ródão/Nisa estão expressos na Tabela 39.

Os valores obtidos para o leite de vaca são da mesma ordem de grandeza dos observados para o leite proveniente das diferentes regiões de Portugal Continental e das Ilhas (Tabela 38). Verifica-se contudo um aumento, de cerca de uma ordem de grandeza, na concentração de actividade em ^{90}Sr para o leite de ovelha e cabra, o que indica uma relação entre a composição do leite e o tipo de alimentação que, no caso de ovelhas e cabras, se processa normalmente em regime de pastorícia. A mesma tendência foi observada em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2004 & 2005).

Procedeu-se ao cálculo da dose devida à ingestão de leite, com base na taxa anual de consumo de 200 litros *per capita* (EUR 19929 EN, 2001 & EUR 20765 EN, 2005), nas actividades médias anuais em ^{90}Sr e ^{137}Cs e nos factores de dose para o ^{90}Sr e ^{137}Cs (Basic Safety Standards, 1996; ICRP, 1996) aplicáveis a um adulto médio para a categoria de membro do público. Obteve-se o valor de $0,69 \mu\text{Sv a}^{-1}$ para a dose devida à ingestão de leite.

Estudos realizados na Finlândia (STUK-B-TKO5, 2004) referem valores de dose devida à ingestão de leite entre 0,7 e $2,6 \mu\text{Sv}$ para o ano de 2003 considerando um consumo *per capita* de 140 litros.

Tabela 38 – Valores de actividade específica, A (Bq L⁻¹), dos radionuclídeos ¹³⁷Cs, ⁴⁰K e ⁹⁰Sr em leite proveniente de várias regiões de Portugal Continental e das Ilhas. As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2 σ) para o ¹³⁷Cs e ⁴⁰K e de 68% (1 σ) para o ⁹⁰Sr

Data de colheita	Região	Tipo	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K
Fevereiro	Alentejo (Évora)	Vaca	< 0,2 (b)	< 0,030 (c)	45 ± 2
Fevereiro	Entre Douro e Minho (Vila do Conde)	Vaca	< 0,2 (b)	< 0,035 (c)	48 ± 4
Fevereiro	Madeira (Santa Cruz)	Vaca	< 0,1 (b)	0,021 ± 0,009	48 ± 3
Março	Trás-os-Montes (Mirandela)	Cabra	< 0,2 (b)	0,026 ± 0,007	42 ± 3
Março	Algarve (Lagos)	Vaca	(a)	0,014 ± 0,008	(a)
Abril	Açores (Ponta Delgada)	Vaca	0,3 ± 0,1	0,067 ± 0,010	47 ± 7
Maió	Ribatejo e Oeste (Moita)	Vaca	< 0,2 (b)	< 0,023 (c)	53 ± 3
Julho	Alentejo (Évora)	Vaca	< 0,2 (b)	0,042 ± 0,011	47 ± 6
Julho	Supermercado (Lisboa)	Vaca	< 0,2 (b)	0,050 ± 0,008	46 ± 3
Agosto	Madeira (Santa Cruz)	Vaca	< 0,2 (b)	< 0,028 (c)	39 ± 5
Outubro	Entre Douro e Minho (Lousada)	Vaca	< 0,2 (b)	0,027 ± 0,007	61 ± 3
Outubro	Trás-os-Montes (Mirandela)	Vaca	< 0,2 (b)	0,010 ± 0,007	48 ± 3
Outubro	Beira Litoral (Cantanhede)	Vaca	< 0,3 (b)	0,029 ± 0,006	50 ± 4
Novembro	Beira Interior (Castelo Branco)	Vaca	< 0,2 (b)	0,029 ± 0,010	47 ± 6
Novembro	Açores (Flamengos – Horta)	Vaca	0,4 ± 0,1	0,061 ± 0,009	48 ± 3
Dezembro	Ribatejo e Oeste (Setúbal)	Vaca	< 0,3 (b)	0,011 ± 0,008	45 ± 3

(a) Amostra danificada durante a análise;

(b) Actividade mínima detectável em ¹³⁷Cs. Este valor depende das condições de medição;

(c) Actividade mínima detectável em ⁹⁰Sr. Este valor depende da actividade do fundo radioactivo e do rendimento químico da análise;

Tabela 39 – Valores de actividade específica, A (Bq L^{-1}), dos radionuclidos ^{137}Cs , ^{40}K e ^7Be em leite proveniente da região de V. Velha de Ródão/Nisa. As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para o ^{137}Cs e ^{40}K e de 68% (1σ) para o ^{90}Sr

Data de colheita	Tipo	^{137}Cs	^{90}Sr	^{40}K
Janeiro	Ovelha	< 0,3 (b)	$0,285 \pm 0,022$	40 ± 3
Fevereiro	Ovelha	< 0,1 (b)	$0,141 \pm 0,031$	35 ± 1
Março	Cabra	< 0,2 (b)	$0,254 \pm 0,018$	55 ± 4
Abril	Cabra	< 0,3 (b)	(a)	34 ± 3
Maió	Ovelha	< 0,2 (b)	$0,312 \pm 0,017$	34 ± 2
Junho	Ovelha	< 0,2 (b)	$0,415 \pm 0,014$	39 ± 3
Julho	Vaca	< 0,1 (b)	$0,043 \pm 0,011$	50 ± 3
Agosto	Vaca	< 0,2 (b)	$0,029 \pm 0,010$	49 ± 3
Setembro	Vaca	< 0,2 (b)	$0,012 \pm 0,008$	60 ± 2
Outubro	Vaca	< 0,2 (b)	$0,021 \pm 0,007$	46 ± 6
Novembro	Vaca	< 0,1 (b)	$0,031 \pm 0,009$	45 ± 3
Dezembro	Vaca	< 0,2 (b)	< 0,031 (c)	46 ± 3

(a) Amostra danificada durante a análise;

(b) Actividade mínima detectável em ^{137}Cs . Este valor depende das condições de medição;

(c) Actividade mínima detectável em ^{90}Sr . Este valor depende da actividade do fundo radioactivo e do rendimento químico da análise;

6. RADIOACTIVIDADE EM SOLOS

6.1. Material e Métodos

Procedeu-se a uma amostragem anual de solos (de origem mineral e orgânico) recolhidos aleatoriamente em diferentes locais no país (Figura 1). Realizaram-se também amostragens mensais de solos no *campus* de Sacavém do ITN e no *campus* da Petrogal, local situado a cerca de 1 km do *campus* de Sacavém na direcção N-S. Estes locais foram seleccionados de acordo com a direcção preferencial dos ventos em relação ao Reactor Português de Investigação (RPI) localizado no *campus* de Sacavém.

Em cada ponto de amostragem recolheram-se, com o auxílio de uma pá, 3 amostras da camada superficial (0-5 cm) do solo, que se misturaram de forma a obter uma amostra representativa.

No laboratório, os solos foram secos a 110°C, desagregados e passados por um peneiro com um crivo de 1000µm de diâmetro, tendo-se retido para análise a fracção de granulometria inferior a 1000 µm. Da amostra, previamente homogeneizada, retirou-se uma alíquota que se colocou num porta-amostras hermeticamente fechado. A análise por espectrometria gama processou-se ao fim de cerca de um mês de modo a assegurar o equilíbrio radioactivo entre o Rádio (^{226}Ra e ^{228}Ra) e os seus descendentes. Os solos colhidos no *campus* de Sacavém do ITN e no *campus* da Petrogal, foram também analisados imediatamente após a colheita da amostra, de modo a se poderem vir a detectar os radionuclidos artificiais de vida curta, como, por exemplo, o ^{131}I .

6.2. Resultados e Discussão

Na Tabela 40 e Figura 21 estão presentes os valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg^{-1}), dos radionuclidos naturais e artificiais detectados em solos colhidos em várias regiões do país.

Como se pode observar os valores obtidos para o ^{235}U situam-se, em geral, abaixo dos valores da actividade mínima detectável. O ^{228}Ra , radionuclido da família radioactiva do ^{232}Th , apresenta valores que variam entre $8,4 \pm 1,3 \text{ Bq kg}^{-1}$ e $78 \pm 3 \text{ Bq kg}^{-1}$. Os valores de actividade específica em ^{238}U (considerando-se em equilíbrio radioactivo secular com o ^{234}Th), ^{226}Ra e ^{210}Pb , radionuclidos da família natural do Urânio, são em geral baixos e da mesma ordem de grandeza, com excepção de alguns valores ligeiramente mais elevados observados para os solos colhidos em Matosinhos, Barca d'Alva e na Aguieira. A diferença nas actividades dos radionuclidos das famílias radioactivas naturais está relacionada com a constituição do substrato geológico. A actividade em ^{40}K é bastante variável sendo, em geral,

mais elevada nos solos orgânicos do que nos solos minerais devido á aplicação de potássio como fertilizante.

Nas Tabelas 41 e 42 estão expressos os valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg^{-1}), dos radionuclidos naturais e artificiais detectados em solos provenientes do *campus* do ITN em Sacavém e do *campus* da Petrogal, respectivamente.

Constata-se que nos solos colhidos no *campus* de Sacavém os valores de actividade específica em ^{238}U (considerado em equilíbrio radioactivo secular com o ^{234}Th), com um valor médio anual de 304 ± 127 Bq kg^{-1} , são mais elevados do que os observados para os solos colhidos em várias regiões do país (Madruga *et al.*, 2004 & 2005). Tal facto pode ser devido aos solos terem sido colhidos no *campus* de Sacavém num local perto da antiga instalação piloto onde, nos anos 60 e 70 do século passado, se procedeu ao tratamento do minério de Urânio. Este assunto deverá ser objecto de um estudo mais aprofundado. Os valores obtidos para o ^{228}Ra e o ^{226}Ra são baixos e relativamente constantes com valores médios anuais de 55 ± 11 Bq kg^{-1} e 40 ± 7 Bq kg^{-1} respectivamente. O valor da actividade específica média anual em ^{210}Pb é cerca de duas vezes e meia superior ao valor obtido para o ^{226}Ra , o que indica a não existência de equilíbrio radioactivo secular entre estes dois radionuclidos. Relativamente ao ^{137}Cs o valor da actividade específica média anual é de $12,3 \pm 4,0$ Bq kg^{-1} . Os valores em ^{131}I são inferiores à actividade mínima detectável (variando entre 0,7 e 2,7 Bq kg^{-1} , dependendo das condições de medição).

Os valores obtidos para os solos provenientes do *campus* da Petrogal (Tabela 42, Figura 23) e das várias regiões do país (Tabela 40, Figura 21) são da mesma ordem de grandeza e inferiores aos observados no *campus* do ITN em Sacavém (Tabela 41, Figura 22) principalmente para os radionuclidos das famílias radioactivas naturais, pela razão já referida anteriormente.

Tabela 40 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em solos provenientes de várias regiões do país

Local de amostragem	Tipo de solo	²³⁵ U	²³⁸ U*	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be
Lagos (Algarve)	Mineral	< 4,8 (a)	16 ± 3	19 ± 1	10 ± 1	10 ± 3	2,7 ± 0,5	212 ± 20	< 15 (a)
Alcácer do Sal (Alentejo)	Orgânico	< 9,4 (a)	39 ± 6	36 ± 2	22 ± 2	26 ± 6	4,1 ± 0,9	500 ± 42	< 27 (a)
	Mineral	< 5,0 (a)	< 8,0 (a)	8,4 ± 1,3	7,6 ± 0,9	9,6 ± 3,1	1,1 ± 0,4	234 ± 21	< 16 (a)
Setúbal (Ribatejo/Oeste)	Mineral	< 6,3 (a)	19 ± 3	29 ± 2	16 ± 1	32 ± 5	6,1 ± 0,7	689 ± 68	< 13 (a)
Matosinhos (Entre Douro e Minho)	Mineral	< 10,1 (a)	86 ± 10	57 ± 3	78 ± 3	71 ± 9	3,1 ± 0,9	883 ± 62	< 30 (a)
Mourão (Alentejo)	Orgânico	< 7,1 (a)	< 11,8 (a)	21 ± 1	12 ± 1	19 ± 5	5,8 ± 0,8	331 ± 30	< 22 (a)
	Mineral	< 5,0 (a)	11 ± 2	14 ± 1	8,9 ± 0,7	12 ± 3	1,3 ± 0,4	251 ± 22	< 15 (a)
Aguieira (Beira Litoral)	Orgânico	< 7,4 (a)	72 ± 9	44 ± 2	48 ± 12	54 ± 7	9,8 ± 1,1	573 ± 43	< 37 (a)
	Mineral	< 5,3 (a)	63 ± 7	26 ± 1	45 ± 2	27 ± 3	1,9 ± 0,4	325 ± 25	< 24 (a)
Valada (Ribatejo/Oeste)	Orgânico	3,9 ± 1,7	48 ± 6	78 ± 3	52 ± 2	39 ± 5	2,1 ± 0,5	889 ± 86	< 27 (a)
	Mineral	< 5,8 (a)	40 ± 6	41 ± 2	23 ± 1	19 ± 4	< 1,5 (a)	729 ± 71	< 22 (a)
Figueira da Foz (Beira Litoral)	Mineral	< 7,2 (a)	20 ± 4	23 ± 1	18 ± 1	66 ± 7	14 ± 1	428 ± 35	< 23 (a)
Barca d'Alva (Trás-os-Montes)	Orgânico	< 7,7 (a)	52 ± 7	55 ± 2	33 ± 2	35 ± 6	10,9 ± 1,1	808 ± 55	< 38 (a)
	Mineral	< 6,3 (a)	48 ± 7	57 ± 2	28 ± 1	21 ± 5	2,0 ± 0,5	510 ± 36	< 26 (a)

(a) Actividade mínima detectável. Este valor depende das condições de medição;

*Considerando o ²³⁸U em equilíbrio radioactivo secular com o ²³⁴Th;

Tabela 41 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em solos provenientes do *campus* do ITN em Sacavém

Data de colheita	²³⁵ U	²³⁸ U*	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be	¹³¹ I
Janeiro	33 ± 4	537 ± 56	68 ± 3	48 ± 3	154 ± 14	12,5 ± 0,4	591 ± 17	< 6,5 (a)	< 0,7 (a)
Fevereiro	21 ± 4	304 ± 33	70 ± 3	47 ± 2	70 ± 9	8,2 ± 1,2	599 ± 48	< 1,3 (a)	< 1,5 (a)
Março	12 ± 3	261 ± 29	42 ± 2	32 ± 2	96 ± 11	11,6 ± 0,8	471 ± 24	< 9,4 (a)	< 1,1 (a)
Abril	11 ± 3	229 ± 25	52 ± 3	37 ± 2	75 ± 10	11,7 ± 0,8	534 ± 27	< 9,3 (a)	< 1,1 (a)
Mai	14 ± 3	186 ± 21	71 ± 3	42 ± 2	70 ± 10	10,2 ± 0,8	575 ± 25	< 13 (a)	< 1,5 (a)
Junho	22 ± 4	404 ± 40	49 ± 3	42 ± 2	131 ± 13	12,8 ± 1,0	485 ± 28	< 15 (a)	< 1,8 (a)
Julho	13 ± 3	192 ± 21	55 ± 2	37 ± 2	97 ± 10	10,6 ± 1,1	458 ± 38	< 23 (a)	< 2,7 (a)
Agosto	22 ± 4	390 ± 38	41 ± 2	34 ± 2	122 ± 12	12,9 ± 1,1	394 ± 40	< 14 (a)	< 2,7 (a)
Setembro	8,8 ± 2,9	186 ± 21	40 ± 2	31 ± 2	163 ± 14	7,2 ± 0,8	423 ± 27	< 13 (a)	< 1,5 (a)
Outubro	8,6 ± 2,2	142 ± 17	69 ± 3	36 ± 2	66 ± 8	11,6 ± 0,8	577 ± 28	< 9,9 (a)	< 1,2 (a)
Novembro	21 ± 3	333 ± 35	49 ± 3	44 ± 3	75 ± 10	15 ± 2	505 ± 55	< 17 (a)	< 2,1 (a)
Dezembro	35 ± 4	481 ± 46	54 ± 3	55 ± 3	99 ± 10	23 ± 1	528 ± 28	< 8,8 (a)	< 1,7 (a)
Média ± σ (n=12)	18 ± 9	304 ± 127	55 ± 11	40 ± 7	101 ± 34	12,3 ± 4,0	512 ± 67	-	-

(a) Actividade mínima detectável. Este valor depende das condições de medição;

* Considerando o ²³⁸U em equilíbrio radioactivo secular com o ²³⁴Th;

Tabela 42 – Valores de actividade específica, $A \pm 2\sigma$ (Bq kg⁻¹), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em solos provenientes do *campus* da Petrogal

Data de colheita	²³⁵ U	²³⁸ U*	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁷ Be	¹³¹ I
Janeiro	< 8,4 (a)	20 ± 4	30 ± 2	18 ± 1	28 ± 6	0,8 ± 0,2	743 ± 18	4,4 ± 1,3	< 0,5 (a)
Fevereiro	< 6,2 (a)	26 ± 5	41 ± 2	25 ± 2	36 ± 6	< 1,5 (a)	487 ± 39	7,2 ± 2,0	< 1,0 (a)
Março	< 5,7 (a)	< 8,7 (a)	23 ± 1	16 ± 4	15 ± 4	1,1 ± 0,3	418 ± 19	< 9,3 (a)	< 1,1 (a)
Abril	< 8,6 (a)	19 ± 4	25 ± 2	16 ± 1	18 ± 4	< 1,2 (a)	438 ± 20	< 9,3 (a)	< 1,0 (a)
Mai	< 5,2 (a)	15 ± 3	18 ± 1	14 ± 1	14 ± 3	0,7 ± 0,2	575 ± 24	< 5,2 (a)	< 0,6 (a)
Junho	< 5,7 (a)	30 ± 5	35 ± 2	20 ± 1	38 ± 5	1,9 ± 0,4	606 ± 27	< 4,9 (a)	< 0,9 (a)
Julho	< 7,0 (a)	34 ± 5	41 ± 2	24 ± 1	20 ± 5	1,5 ± 0,5	540 ± 39	< 14,2 (a)	< 1,6 (a)
Agosto	< 6,4 (a)	23 ± 4	31 ± 1	21 ± 1	28 ± 4	< 0,7 (a)	555 ± 26	< 4,9 (a)	< 0,9 (a)
Setembro	< 6,3 (a)	27 ± 4	32 ± 2	19 ± 1	27 ± 5	1,3 ± 0,4	592 ± 25	< 7,3 (a)	< 1,3 (a)
Outubro	< 7,4 (a)	30 ± 5	34 ± 2	18 ± 1	31 ± 4	1,0 ± 0,4	607 ± 29	< 7,5 (a)	< 1,0 (a)
Novembro	< 8,8 (a)	26 ± 5	31 ± 2	18 ± 1	21 ± 5	< 1,8 (a)	576 ± 58	5,1 ± 3,9	< 1,7 (a)
Dezembro	< 4,2 (a)	27 ± 4	32 ± 2	20 ± 1	15 ± 4	0,9 ± 0,3	636 ± 31	5,7 ± 2,2	< 0,9 (a)
Média ± σ (n=12)	-	< 24	31 ± 7	19 ± 3	24 ± 8	< 1,2	564 ± 88	< 7,1	-

(a) Actividade mínima detectável. Este valor depende das condições de medição.

* Considerando o ²³⁸U em equilíbrio radioactivo secular com o ²³⁴Th.

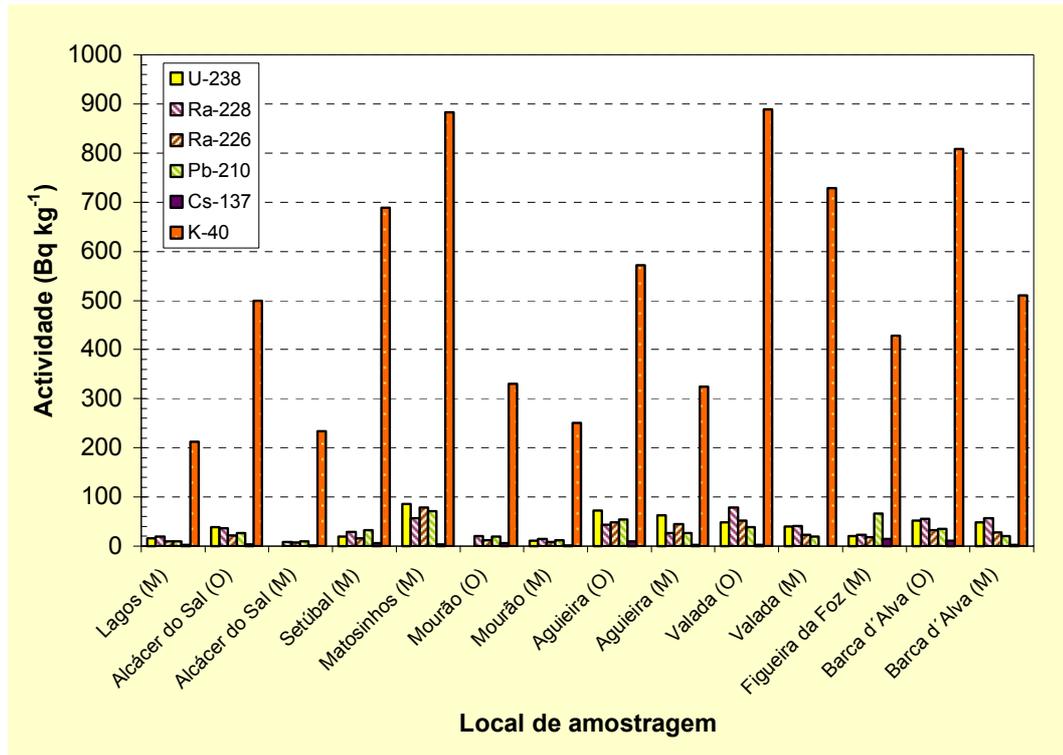


Figura 21- Actividade específica (Bq kg⁻¹) de radionuclidos naturais e artificiais em solos de origem mineral (M) e orgânica (O) colhidos em diferentes regiões do país

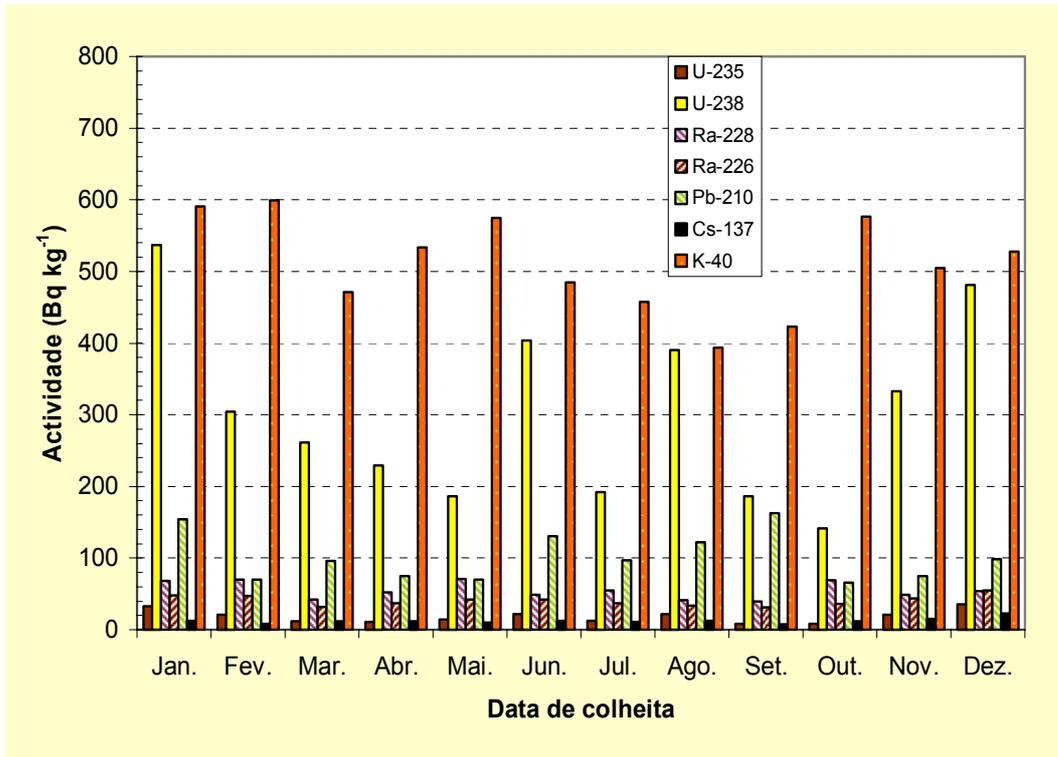


Figura 22- Actividade específica (Bq kg⁻¹) de radionuclidos naturais e artificiais em solos colhidos no *campus* do ITN (Sacavém)

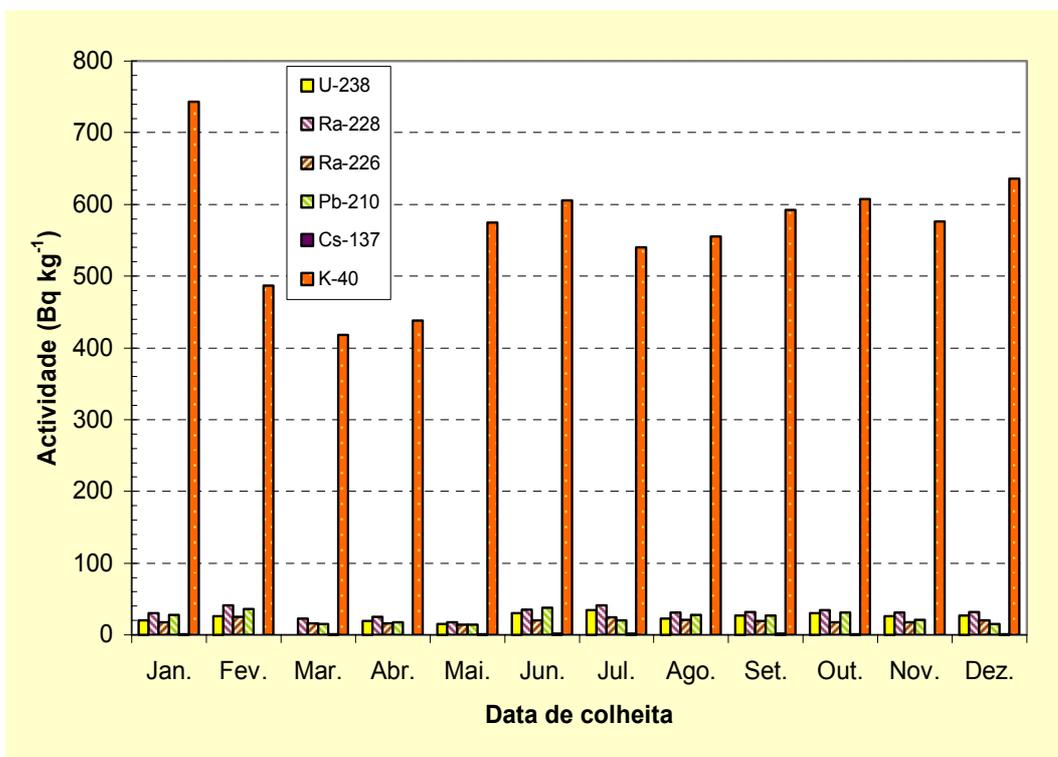


Figura 23- Actividade específica (Bq kg⁻¹) de radionuclidos naturais e artificiais em solos colhidos no *campus* da Petrogal

7. AVALIAÇÃO DA DOSE DE RADIAÇÃO GAMA AMBIENTAL

7.1 *Material e Métodos*

A partir de Dezembro de 2004, procedeu-se à avaliação da dose de radiação gama ambiental no *campus* do ITN, em Sacavém (Figura 1), realizada com dosímetros integradores termoluminescentes. Avaliou-se o débito de equivalente de dose ambiental em três pontos de medida no *campus*, seleccionados de acordo com a direcção preferencial dos ventos em relação ao RPI e na vizinhança dos detectores de radiação gama de medição directa. Os pontos de medida escolhidos localizam-se no topo do edifício da Biblioteca, no terraço do edifício das Oficinas e na proximidade do anemómetro, no campo entre o edifício do DPRSN e o pavilhão de resíduos, a um metro do solo. Os pontos de medida passaram a ser identificados pelas designações Biblioteca, Oficinas e DPRSN.

A metodologia utilizada na avaliação da dose ambiental foi desenvolvida a partir de Dezembro de 2004, sendo baseada na metodologia seguida na dosimetria individual por termoluminescência, adaptada aos requisitos das medidas ambientais.

O dosímetro termoluminescente utilizado consiste no cartão Harshaw 8814 contendo dois detectores de LiF:Mg,Ti (TLD-100) inserido no respectivo porta-dosímetro, adequado à medida do equivalente de dose individual $H_p(10)$, posteriormente corrigido para a grandeza equivalente de dose ambiental $H^*(10)$. Os dosímetros foram lidos em leitores semi-automáticos Harshaw 6600 calibrados mensalmente, sendo a eficiência de cada dosímetro corrigida através da aplicação do respectivo factor de correcção individual, de acordo com a metodologia descrita em Alves *et al.* (2005).

Durante 2005, realizaram-se várias campanhas de medida no *campus* do ITN. A primeira teve início em Dezembro de 2004 e prolongou-se até Março de 2005, a segunda decorreu de Março a Junho de 2005 e a terceira esteve em curso de Junho a Setembro de 2005. A quarta campanha de medidas teve início em Outubro de 2005, altura em que se implementou a rede de pontos de medida de radiação gama ambiental no País. Atendendo a que esta campanha findou em 2006 estes resultados serão reportados posteriormente.

Em cada campanha colocaram-se nos três pontos de medida do *campus*, um número suficiente dosímetros para avaliar a dose de radiação ambiental em períodos de integração sucessivamente crescentes, de 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, e 120 dias, aproximadamente.

Para cada tempo de integração considerado, utilizaram-se doze dosímetros, agrupados em três conjuntos de quatro, todos expostos durante o mesmo intervalo de tempo. O primeiro conjunto de quatro dosímetros foi irradiado a uma dose de referência antes da colocação no ponto de medida; o segundo conjunto de quatro dosímetros foi irradiado à

mesma dose de referência depois do tempo de integração; o terceiro conjunto de dosímetros não recebeu qualquer irradiação além da dose de radiação natural que se pretende avaliar. Findo o período de integração pretendido, os três conjuntos foram lidos simultaneamente. Com os dois conjuntos irradiados antes e depois do período de integração, pretende-se corrigir o *fading* e/ou as alterações de sensibilidade induzidas pela temperatura ambiente e suportadas pelos dosímetros durante o tempo de integração (Alves *et al.*, 1999). Para cada medida, determinou-se o respectivo factor de correcção de *fading*, que foi aplicado ao valor de dose avaliado com os quatro dosímetros não irradiados.

Atendendo a que a grandeza adequada para exprimir as medidas de dose de radiação ambiental é o equivalente de dose ambiental, $H^*(10)$, expresso em sievert, procedeu-se à determinação experimental de um factor de correcção para transformar os valores medidos em unidades de $H_p(10)$ em termos do equivalente de dose ambiental, $H^*(10)$, pretendido.

Os resultados que se apresentam neste relatório estão expressos em termos do débito de equivalente de dose ambiental, $\dot{H}^*(10)$, expresso em nSv h^{-1} .

7.2 Resultados e Discussão

Os valores de $\dot{H}^*(10)$ determinados para os tempos de integração de 15, 30 e 45 dias nas várias campanhas realizadas são pouco fiáveis, quer em termos do valor avaliado, quer em termos da respectiva incerteza, e foram excluídos dos gráficos e dos restantes resultados. Considerou-se que tempos de integração inferiores a cerca de 60 dias são insuficientes para produzir um resultado fiável e reproduzível. Na Tabela 43 identificam-se as medidas que foram consideradas, correspondendo a tempos de exposição superiores a 60 dias (aproximadamente).

Nas Figuras 24, 25 e 26 representam-se respectivamente os valores do débito de equivalente de dose ambiental medidos nas sucessivas campanhas de medida realizadas na Biblioteca, Oficinas e DPRSN com os dosímetros expostos durante tempos de integração identificados na Tabela 43. A incerteza de cada medida, representada pelas barras de erro dos pontos experimentais, foi obtida a partir do desvio padrão das medidas efectuadas com os três conjuntos de quatro detectores cada, conforme se descreveu acima e não tem em conta as dependências energética e angular da grandeza avaliada.

Observa-se que os valores do débito de equivalente de dose ambiental medidos na Biblioteca e nas Oficinas são muito próximos entre si, embora estes últimos apresentem maior dispersão do que os primeiros. Os valores de $\dot{H}^*(10)$ medidos no DPRSN são sistematicamente mais elevados do que os outros dois, provavelmente devido à proximidade do pavilhão de resíduos de média e baixa actividade. A partir dos resultados apresentados nas Figuras 24, 25 e 26 determinaram-se os valores médios para o débito de dose ambiental

medidos no ano de 2005 nos três pontos de medida do *campus*. A Tabela 44 resume estes valores representados junto com a respectiva variação, traduzida pelos valores máximos e mínimos registados. A incerteza apresentada foi determinada pelo desvio padrão do valor médio dos valores medidos em cada ponto de medida.

Os valores do débito de equivalente de dose avaliados no *campus* do ITN e apresentados na Tabela 44 são valores considerados normais e compatíveis com valores anteriormente publicados para o distrito de Lisboa (Amaral 1995).

Tabela 43 – Medidas realizadas com tempos de integração superiores a 60 dias (aprox.)

Medida	Data de colocação	Data de remoção	Tempo de integração (dias)
1	13-Dez-04	04-Mar-05	81
2	13-Dez-04	22-Mar-05	99
3	03-Mar-05	03-Mai-05	61
4	03-Mar-05	18-Mai-05	76
5	03-Mar-05	09-Jun-05	98
6	03-Mar-05	16-Jun-05	105
7	03-Mar-05	24-Jun-05	113
8	06-Jun-05	01-Ago-05	56
9	06-Jun-05	08-Set-05	94
10	06-Jun-05	28-Set-05	114

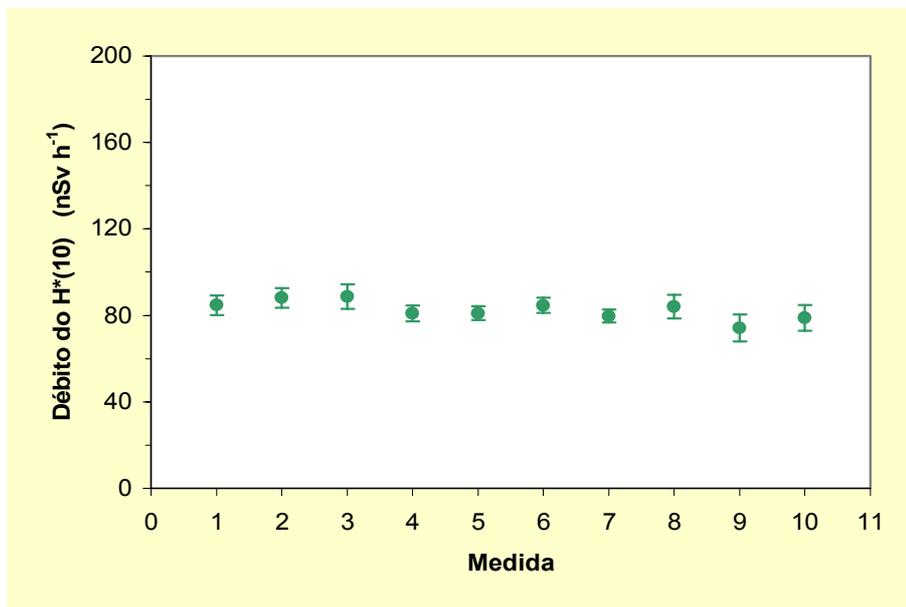


Figura 24 - Débito do equivalente de dose ambiental (nSv h⁻¹) medido no telhado da Biblioteca

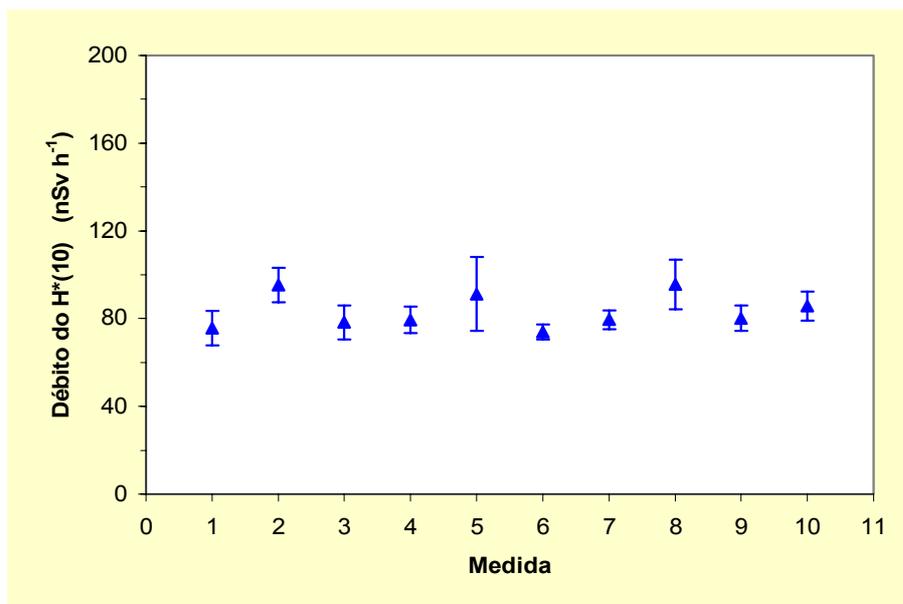


Figura 25 - Débito do equivalente de dose ambiental (nSv h⁻¹) medido no telhado das Oficinas

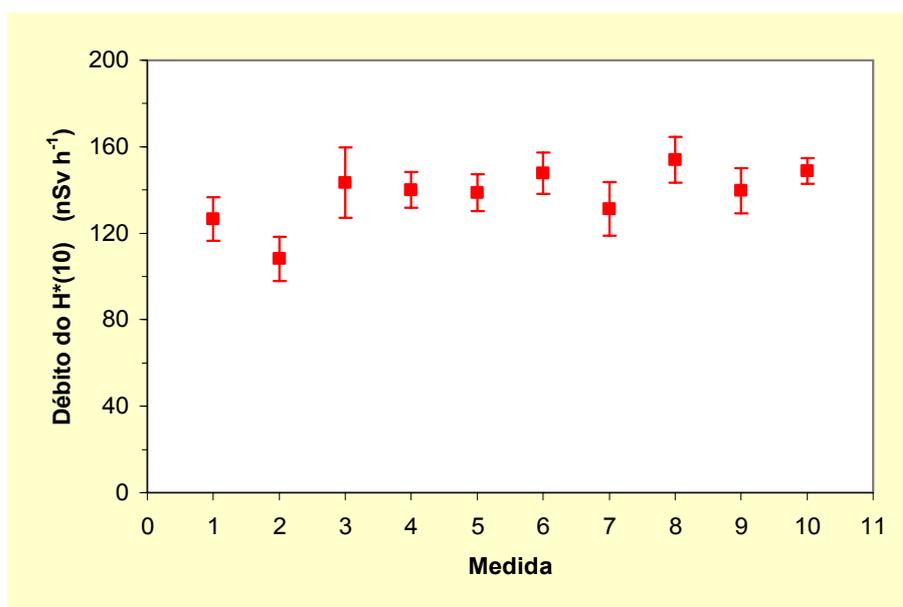


Figura 26 - Débito do equivalente de dose ambiental (nSv h⁻¹) no campo em frente ao DPRSN

Tabela 44 – Valor médio do débito do equivalente de dose ambiental medido em 2005 nos vários locais do campus do ITN e respectiva variação (em nSv h⁻¹)

Local	$\dot{H}^*(10)$	(min – máx)
Biblioteca	89,1 ± 11,6	74,1 – 88,6
Oficinas	90,0 ± 12,9	74,0 – 95,6
DPRSN	142,7 ± 14,0	108,2 – 154,1

8. CONCLUSÕES

Do vasto conjunto de resultados obtidos para os diferentes compartimentos ambientais (ar, água da chuva, águas de superfície, águas para consumo humano, produtos alimentares, leite, sedimentos e solos) pode concluir-se que os teores de radioactividade determinados são baixos e situam-se dentro da gama de valores obtidos em anos anteriores. As concentrações dos radionuclidos de origem natural, designadamente das famílias do Urânio, do Tório, e o ^{40}K , são valores típicos do fundo radioactivo natural, isto é, não alterado pela acção humana. As concentrações dos radionuclidos de origem artificial, designadamente do ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^3H , são muito baixas e, frequentemente, abaixo dos valores da actividade mínima detectável.

O valor da dose de radiação devida à inalação e ingestão dos radionuclidos artificiais por um elemento médio da população Portuguesa é de cerca de $2,7 \mu\text{Sv a}^{-1}$. Este valor situa-se muito abaixo dos limites da dose máxima permitida para membros do público (1 mSv a^{-1}) (Directiva 96/29 EURATOM).

Os resultados do programa de 2005, mostraram que, tal como em anos precedentes, não foram detectadas substâncias radioactivas de origem artificial no ambiente em concentrações susceptíveis de causar efeitos nocivos na saúde humana. Deve assinalar-se, no entanto, a excepção do rio Tejo, onde os valores em ^3H na água são superiores ao valor normal do fundo radioactivo mas, apesar disso, sem significado, sob o ponto de vista dos efeitos radiológicos.

Pode pois, concluir-se que a população portuguesa residente no território nacional não esteve exposta a níveis de radioactividade mais elevados que o fundo radioactivo natural, não sendo necessário recomendar qualquer medida de protecção radiológica.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se às Direcções Regionais de Agricultura do Continente, à Inspecção Regional das Actividades Económicas dos Açores e à Secretaria Regional do Ambiente e Recursos Naturais da Madeira o apoio prestado na aquisição e envio das amostras. Agradece-se ao Instituto de Meteorologia por ter permitido a instalação de um colhedor de deposição atmosférica nas instalações da Estação Meteorológica de Castelo Branco. Agradece-se à Petrogal por ter disponibilizado as instalações do Parque de Sacavém para a colheita de amostras de solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves J.G., Muñiz J.L., Gómez Ros J.M., Delgado A. (1999). A Comparative Study on the Thermal Stability of LiF:Mg, Ti and LiF:Mg,Cu,P Detectors for Environmental Monitoring. *Radiat. Prot. Dosim.*, 85, 253-257.
- Alves J.G., Abrantes J.N., Margo O., Rangel S., Santos L. (2005) Long-Term Stability of a TLD-Based Individual Monitoring System. Aceite para publicação na *Radiat. Prot. Dosim.* (doi: 10.1093/rpd/nci520).
- Amaral, E.M. (1995) Exposição à Radiação Gama Natural Terrestre – relação entre as doses de radiação e os radionuclídeos primordiais existentes no solo. Monografia apresentada para prestação de provas de acesso à categoria de Investigador Auxiliar.
- Azahra M., Camacho-García A., González-Gomes C., López-Peñalver J.J., El Bardouni T. (2003). Seasonal ^7Be Concentrations in Near-Surface Air of Granada (Spain) in the Period 1993-2001, *Applied Radiation and Isotopes*, **59**, 159-164.
- Baeza A., Carreiro M.C.V., Guillén F. J., Miró C., Sequeira M.M. (2002). Dilution of ^{90}Sr in the Water of the Tagus River in Portugal and Spain. *Física 2002*, Évora 6/10 Setembro 2002.
- Basic Safety Standards (96/29 EURATOM, Tables A and B), 1996
- Bouisset P., Barker E., Masson O., Gurriaran R., Cagnat X., Mekhlouche D., Aubry S., Hadjaj M., Saey L. (2004). Concentration de ^{137}Cs et de ^7Be dans les Aerosols en France Métropolitaine et à Tahiti de 1959 à 2002, *Radioprotection*, Vol. 39, **3**, 367-381.
- Calvo A., Tovar I., Castillo C., Collantes R., Carmona A., Salvador L. (2005). Programas de Vigilância Radiológica Ambiental - Resultados 2003. Colección Informes Técnicos, 14.2005. Referencia INT-04.10, Consejo de Seguridad Nuclear, Depósito legal: M-26.381-2005.
- Calvo A., Tovar I., Castillo C., Collantes R., Carmona A., Salvador L. (2005). Programas de Vigilância Radiológica Ambiental - Resultados 2004. Colección Informes Técnicos, 15.2005. Referencia INT-04.11, Consejo de Seguridad Nuclear, Depósito legal: M-17.978-2006.
- Cannizzaro F., Greco G., Raneli M., Spitale M.C., Tomarchio E. (2004). Concentration Measurements of ^7Be at Ground Level Air at Palermo, Italy – Comparison with Solar Activity over a Period of 21 years, *Journal of Environmental Radioactivity*, **72**, 259-271.
- Carvalho, F.P., M.J. Madruga, J.M. Oliveira, J.M. Gouveia, L. Silva (2004a). Radioactivity in the Northern Seas of Europe. *Radioprotecção 2*: 118-125.
- Carvalho F.P., M. J. Madruga, J. M. Oliveira, I. Lopes, M. M. Sequeira, G. Ferrador (2004B). Qualidade Radiológica da Água para Consumo em Portugal: Águas de Superfície e Águas Subterrâneas. *11º Encontro Nacional de Saneamento Básico*, Faro, Universidade do Algarve, 12 a 15 Outubro 2004 (*Publicado em CD-ROM*).
- COM/473/EURATOM- Commission Recommendation of 8 June 2000, Official Journal of the European Commission, nº 191, 27th July 2000.
- Dueñas C., Fernández M.C., Carretero J., Liger E., Cañete S. (2003). ^7Be and ^{210}Pb Concentrations in Air in Málaga (Spain), *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 257, **2**, 249-253.
- EUR 19929 EN (2001). Environmental Radioactivity in the European Community (1995), Radiation Protection N° 126.
- EUR 20765 EN (2005). Environmental Radioactivity in the European Community (1996-2000), Radiation Protection N° 141.

Gaffney J.S., Marley N.A., Cunningham M.M. (2004). Natural Radionuclides in Fine Aerosols in the Pittsburgh Area, *Atmospheric Environment*, **38**, 3191-3200.

Gomes A.R., Rodrigues F., Machado L., Sequeira M.M., Madruga M.J. (2005). Aplicação da Técnica de Troca Iónica à Determinação de Actividade Beta Residual em Amostras de Águas de Superfície. 4º Encontro Nacional de Cromatografia, Universidade de Évora, 12-14 de Dezembro 2005.

Grabowski D., Kurowski W., Muszynski W., Rubel B., Smagala G., Swietochowska J. (2000). Radioactive Contamination of Environment and Food in Poland in 1999. Raport CLOR nº140, Warsaw, ISBN 83-911821-0-X.

ICRP (1996). Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5- Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients, Publication N° 72, Vol 26, nº1.

Instituto de Meteorologia (2005), Caracterização Climática 2004, eds. IM, Lisboa, 19 pp.

Ioannidou A., Manolopoulou, M., Papastefanou C. (2005). Temporal Changes of ⁷Be and ²¹⁰Pb Concentrations in Surface Air at Temperate Latitudes (40° N), *Applied Radiation and Isotopes*, **63**, 277-284.

ISO 5667-5. Water Quality-Sampling, Part 5- Guidance on Sampling of Drinking Water Used for Food and Beverage Processing, Setembro 1996.

Lopes I, Carvalho F.P., Oliveira J.M, Madruga M.J., Ferrador G., Sequeira M.M. (2005). Estudo sobre a Radioactividade de Algumas Águas de Consumo. Proceedings do "International Congress Energy and Environmental Engineering and Management", Portalegre.

Madruga M.J., Carvalho F.P., Sequeira M.M, Ferrador G., Gameiro M.A., Reis M., Gouveia J., Ramos L., Oliveira J.M, Silvino V., Machado L., Faria I., Lucas A., Pereira M. A., Tavares M. A., Libânio A., Pires C., Curado S. (2003). Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2002). Relatório DPRSN, Série A, nº26/2003, ISBN 972-8660-27-8. Depósito Legal 194022/03.

Madruga M.J., Carvalho F.P., Sequeira M.M, Ferrador G., Gameiro M.A., Reis M., Silva L., Gouveia J., Ramos L., Oliveira J.M, Machado L., Lopes I., Pereira M. A., Tavares M. A., Libânio A., Silvino V. (2004). Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2003). Relatório DPRSN, Série A, nº28/2004, ISBN 972-8660-29-4. Depósito Legal 194022/03.

Madruga M.J., Carvalho F.P., Reis M., Sequeira M. M., Ferrador G., Gameiro M. A., Silva L., Gouveia J., Machado L., Oliveira J.M., Lopes I., Silvino V. (2004). Vigilância Radiológica do Ambiente em Portugal. *Actas da 8ª Conferência Nacional de Ambiente*, Lisboa, 27-29 Outubro 2004.

Madruga M.J., Sequeira M.M, Ferrador G., Gameiro M.A., Reis M., Lopes I., Silva L., Gouveia J., Ramos L., Machado L., Pereira M. A., Tavares M. A., Carvalho F.P., Oliveira J.M, Libânio A. (2005). Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2004). Relatório DPRSN, Série A, nº29/2005, ISBN 972-8660-30-8. Depósito Legal 194022/03.

Norma Portuguesa- NP 4330, Qualidade da Água, Medida da Actividade Beta Total em Águas não Salinas, Método por Fonte Concentrada, Setembro 1996.

Norma Portuguesa- NP 4332, Qualidade da Água, Medida da Actividade Alfa Total em Águas não Salinas, Método por Fonte Concentrada, Setembro 1996.

Norma Portuguesa- NP 4362, Determinação da Concentração da Actividade em Trítio, Método de Contagem por Cintilação Líquida, Setembro 1997.

Oliveira, J. M., Libânio A., Carvalho F. P. (2005). Radioactive Contamination of the North-Atlantic Monitored along the Portuguese Coast with Bio-indicators. Proceed. do “*First International Conference on Coastal Conservation and Management in the Atlantic and Mediterranean (ICCCM’05)*”, Tavira, Portugal, 17-20 April 2005, pp. 399-405. F.V.Gomes, F.T. Pinto, L. Neves, A. Sena and O. Ferreira (eds. FEUP, Universidade do Porto (ISBN 972-752-083-9).

RIFE-9 (2004). Radioactivity in Food and the Environment, 2003. Environmental Agency, Environment and Heritage Service, Food Standards Agency, Scottish Environment Protection Agency.

RIFE-10 (2005). Radioactivity in Food and the Environment, 2004. Environmental Agency, Environment and Heritage Service, Food Standards Agency, Scottish Environment Protection Agency.

RPII-02/2 (2002). Environmental Radioactivity Surveillance Programme 1999 and 2000, Radiological Protection Institute of Ireland.

Sequeira M. M., Pires C., Brogueira A., Carreiro M.C. V. (2000). Radioactividade nos Rios Tejo e Zêzere, em 1999. Relatório DPRSN, Série A, nº1.

Sequeira M. M., Faisca M.C., Ferrador G., Reis M., Curado S., Pires C., Silvino V., Pereira M.A., Tavares M. A., Gameiro M.A., Madruga M. J. (2002). Vigilância Radiológica a Nível Nacional (1999-2001). Relatório DPRSN, Série A, nº18/2002, ISBN 972-95401-9-5. Depósito Legal 179039/02.

Sequeira M. M., Silvino V., Pereira M. A., Pires C., Brogueira A., Faria I., Curado S. (2002). Radioactividade nos Rios Tejo e Zêzere, nos anos de 2000 e 2001. Relatório DPRSN, Série A, nº19/2002.

STUK-B-TKO5 (2004). Surveillance of Environmental Radiation in Finland, Annual Report 2003, R. Mustonen ed..

Todorovic D., Popovic D., Djuric G., Radenkovic M. (2005). ^7Be and ^{210}Pb Concentration Ratio in Ground Level Air in Belgrade Area, *Journal of Environmental Radioactivity*, **79**, 297-307.

ANEXO

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ANALÍTICA

O DPRSN procede regularmente à avaliação externa da qualidade analítica participando periodicamente em exercícios internacionais de intercomparação analítica para a determinação de radionuclídeos artificiais e naturais em amostras ambientais (aerossóis, águas, solos, leite, etc.) (Bojanowski, R. *et al*, 2001; IRC Note nº50, 2002; Pham, M.K., 2004; Shakhashiro, A. *et al.*, 2005). Estes exercícios são organizados por várias entidades, tais como, Organização Mundial de Saúde, Agência Internacional de Energia Atómica, União Europeia, etc., e consistem, basicamente, na análise de amostras de composição desconhecida, distribuídas aos laboratórios participantes.

Em 2005, participou-se num exercício de intercomparação para a determinação da concentração de ^{137}Cs , ^{40}K e ^{90}Sr em leite em pó, no âmbito do Artigo 35º do tratado da EURATOM. O laboratório foi avaliado considerando um factor de desempenho E_n , calculado a partir dos resultados do laboratório (A_{lab}) e dos valores de referência (A_{ref}) usando a seguinte expressão: $((A_{\text{lab}} - A_{\text{ref}}) / \sqrt{(U_{\text{lab}}^2 + U_{\text{ref}}^2)})$, onde U_{lab} e U_{ref} representam os respectivos valores das incertezas. O resultado é considerado satisfatório se o factor $|E_n|$ for ≤ 1 e não satisfatório se o factor for > 1 . Os resultados obtidos pelo DPRSN para o factor de desempenho foram de -1,18, -0,33 e -0,77 para o ^{137}Cs , ^{40}K e ^{90}Sr respectivamente

Ainda em 2005, o DPRSN participou num exercício organizado pelo Consejo de Seguridad Nuclear (Espanha) para a determinação de radionuclídeos naturais e artificiais por espectrometria gama e espectrometria alfa numa amostra de cinza de vegetais. Os resultados obtidos foram aceitáveis (Z -score ≤ 2) para os radionuclídeos analisados com excepção do valor para o ^{238}Pu que foi não satisfatório (Z -score > 3) (González, M.L., Izquierdo, M., Valino, V. 2006). O valor de Z -score foi estabelecido por comparação entre o desvio de cada laboratório (diferença entre o valor obtido pelo laboratório e o valor de referência) e o desvio padrão de desempenho do laboratório (valor estabelecido como objectivo da qualidade do laboratório para cada análise/radionuclídeo).

Bojanowski, R., Radecki, Z., Campbell, M.J., Burns, K.I., Trinkl, A. (2001). Report on the Intercomparison Run for the Determination of Radionuclides in Soils, IAEA-326 and IAEA-327, IAEA/AL/100.

IRC Note nº50 (2002). Report of the IRC-CEC Intercomparison Concerning the Measurement of the Gross Alpha, Gross Beta, Tritium Activities and Potassium Concentration in a Drinking Water Sample, Sample nº 69 SH 300. WHO/IRC and IRSN.

González, M.L., Izquierdo, M., Valino, V. (2006). Evaluacion de la Intercomparación CSN/CIEMAT-2005 entre Laboratorios Nacionales de Radioactividad Ambiental (Ceniza Vegetal), CSN.

Pham, M.K., La Rosa, J., Lee, S-H and Povinec, P.P. (2004). Radionuclides in Mixed Fish from Irish Sea and the North Sea-IAEA-414 (IAEA/AL/145-IAEA/MEL/73), Monaco.

Shakhashiro, A., Radecki, Z., Trinkl, A., Sansone, U. and Benesch, T. (2005). Final Report on the Proficiency of the Analytical Laboratories for the Measurements of Environmental Radioactivity (ALMERA) Network. IAEA/AL/152, August 2005.