



Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear

Relatório DPRSN-A, nº31/07

Vigilância Radiológica a Nível Nacional  
(Ano 2006)

**Investigadores:**

Maria José Madruga  
Fernando Carvalho  
Mário Reis  
Nuno Pinhão  
João Alves

**Técnicos:**

João Maria Oliveira  
Albertina Libânio  
Gabriel Silva

**Bolseiros:**

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

**Avençados:**

Irene Lopes  
João Abrantes  
Lídia Silva  
Lubélia Machado

Outubro 2007

---

---

Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear

Director: José Pedro Vaz  
Endereço: Estrada Nacional 10, 2686-953 Sacavém, Portugal  
Telefone: +351 - 21 9946000  
Fax: +351 - 21 9941995  
e-mail: [dprsn.secretariado@itn.pt](mailto:dprsn.secretariado@itn.pt)  
Pág. web <http://www.itn.pt>

**Ficha Técnica**

Título	<b>Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2006)</b>
Autoria	<i>M.J. Madruga, F. Carvalho, M. Reis, N. Pinhão, J. Alves J.M. Oliveira, A. Libânio, G. Silva I. Lopes, L. Silva, J. Abrantes, L. Machado A.R. Gomes, A.S. Lemos, E. Oliveira, F. Rodrigues, G. Carvalhal, H. Fonseca, J. Melo, L. Novais</i>
Edição	Instituto Tecnológico e Nuclear Dep. Protecção Radiológica e Segurança Nuclear
Tiragem	60 exemplares
ISBN	978-972-8660-32-1
Depósito Legal	194022/03
Data da Edição	Outubro 2007

---

# ÍNDICE

<i>Resumo</i>	1
<i>Abstract</i>	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. RADIOACTIVIDADE NA ATMOSFERA	11
2.1 Aerossóis	11
2.1.1 <i>Material e Métodos</i>	11
2.1.2 <i>Resultados e Discussão</i>	11
2.2 Deposição Atmosférica	14
2.2.1 <i>Material e Métodos</i>	14
2.2.2 <i>Resultados e Discussão</i>	15
3. RADIOACTIVIDADE NO MEIO AQUÁTICO	21
3.1 Rios	21
3.1.1 <i>Material e Métodos</i>	21
Águas	21
Sedimentos	21
Peixes	22
Plantas Aquáticas	22
3.1.2 <i>Resultados e Discussão</i>	22
Águas	22
Sedimentos	31
Peixes	43
Plantas Aquáticas	43
3.2 Mar	46
3.2.1 <i>Material e Métodos</i>	46
3.2.2 <i>Resultados e Discussão</i>	46
4. RADIOACTIVIDADE EM ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO	49
4.1 <i>Material e Métodos</i>	49
4.2 <i>Resultados e Discussão</i>	49
5. RADIOACTIVIDADE EM COMPONENTES DA CADEIA ALIMENTAR	58
5.1 <i>Material e Métodos</i>	58
Componentes Individuais e Refeição Completa	58
Leite	58
5.2 <i>Resultados e Discussão</i>	59
Componentes Individuais e Refeição Completa	59
Leite	64
6. RADIOACTIVIDADE EM SOLOS	68
6.1 <i>Material e Métodos</i>	68
6.2 <i>Resultados e Discussão</i>	68
7. AVALIAÇÃO DA DOSE DE RADIAÇÃO GAMA AMBIENTAL	76
7.1 <i>Material e Métodos</i>	76
7.2 <i>Resultados e Discussão</i>	78
8. CONCLUSÕES	82
AGRADECIMENTOS	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXO	89

## Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2006)

### 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 2006, 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. As concentrações medidas para os radionuclídeos de origem artificial ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^3\text{H}$ ) são muito baixas e, situam-se frequentemente, abaixo dos valores da actividade mínima detectável, com excepção do rio Tejo onde os valores em  $^3\text{H}$  são superiores ao valor normal do fundo radioactivo mas, sem significado do ponto de vista dos efeitos radiológicos. Os resultados obtidos para os radionuclídeos de origem natural ( $^{40}\text{K}$  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 2006, 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 analyzed. 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 and beta measurement by liquid scintillation. Results show that the concentrations of the artificial radionuclides ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  and  $^3\text{H}$ ) 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 are higher than normal background but without radiological significance. The results for natural radioactivity ( $^{40}\text{K}$ , 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 ou o novo sistema online, que está actualmente a ser testado, 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). Os resultados a partir de 2001 podem ser consultados no site do JRC utilizando o software GERDA.

O Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN), através do Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear (DPRSN) têm sido, ao longo dos anos, a entidade nacional responsável pelo cumprimento dos Artigos 35º e 36º. Em 2005, através do Dec-Lei 138/2005 de 17 de Agosto o sistema de monitorização ambiental em Portugal foi legalmente estabelecido e a responsabilidade da sua execução atribuída ao ITN.

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. A partir de 2001, 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, o programa foi estruturado e alargado de modo a assegurar o acompanhamento da exposição efectiva da população portuguesa à radioactividade.

O sistema de monitorização consiste de duas redes complementares, a rede dispersa e a rede densa. Para a rede dispersa seleccionou-se um número limitado de locais de amostragem, os quais são constantes ao longo dos anos, onde as medições são normalmente realizadas com maior grau de sensibilidade e a frequência da amostragem é mensal permitindo seguir a evolução da concentração dos radionuclidos ao longo dos meses e dos anos. A rede densa é composta por um maior número de locais de amostragem, que podem variar ao longo dos anos, cobrindo todo o território sendo a frequência de amostragem trimestral, semestral ou anual. A selecção dos pontos de amostragem teve em consideração as especificidades do país. Apresentam-se em seguida alguns casos concretos.

Devido à existência de centrais nucleares no rio Tejo em Espanha, principalmente a Central Nuclear de Almaraz que está localizada a cerca de 100 km da fronteira portuguesa, 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. Na rede dispersa seleccionou-se Vila Velha de Ródão como local de amostragem representativo para águas de superfície, por ser o local no rio Tejo mais próximo da fronteira com Espanha.

Relativamente aos locais de amostragem para o leite seleccionaram-se, na rede dispersa a região norte de Portugal por ser a região onde se concentra a maior produção leiteira e a região de Portalegre por se situar junto à fronteira com Espanha e próximo da Central Nuclear de Almaraz. As amostras de dieta mista podem ser constituídas por refeições completas ou por componentes individualizados. Na rede dispersa, seleccionou-se como tipo de amostra a refeição completa por ser mais representativa da dieta mista e como local de amostragem uma cantina universitária de Lisboa onde é consumido um número elevado de refeições. Na rede densa, consideraram-se os componentes individuais e os locais de amostragem foram seleccionados de modo a abrangerem todo o país, com alguns locais específicos, em pontos mais críticos, designadamente junto à fronteira com Espanha.

No que se refere à água para consumo humano seleccionaram-se como pontos de amostragem representativos na rede dispersa a barragem de Castelo de Bode (Rio Zêzere), uma das maiores captações de água em Portugal, e Lisboa, devido ao elevado número de consumidores.

Com o objectivo de se monitorizar a radioactividade na costa marítima portuguesa definiu-se, para a rede densa, um plano de amostragem anual que inclui análises de amostras marinhas recolhidas em vários locais ao longo da costa.

Relativamente à radioactividade na atmosfera, determinada através das partículas em suspensão no ar (aerossóis), seleccionou-se o Campus do ITN em Sacavém como local de

amostragem na rede dispersa. A deposição atmosférica foi controlada através da medição da radioactividade em água da chuva, com dois locais de amostragem o Campus do ITN em Sacavém e Castelo Branco (local sujeito à influência da Central Nuclear de Almaraz), e em solos (rede densa).

Procedeu-se ainda à avaliação da dose de radiação gama ambiental (detectores passivos) ao longo do país e no Campus do ITN (rede densa). Os locais de amostragem foram seleccionados de forma a ser possível monitorizar as regiões mais densamente habitadas de Lisboa (pontos do Campus do ITN) e do Porto (Vila Nova de Gaia), bem como a região correspondente ao eixo Bragança, Penhas Douradas, Castelo Branco, Portalegre, Beja e Faro. Escolheram-se também locais no Funchal e em Ponta Delgada (a partir do fim de 2006), como locais representativos das Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores, respectivamente.

Nas Figuras 1 e 2 estão representados os locais de amostragem e o tipo de amostras para as redes dispersa e densa respectivamente.

A radioactividade existente na atmosfera pode ter origem natural ou artificial e resulta, basicamente, de três fontes principais: i) exalação para a atmosfera de  $^{222}\text{Rn}$  e  $^{220}\text{Rn}$ , formados através da desintegração radioactiva do  $^{226}\text{Ra}$  e do  $^{234}\text{Ra}$  (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  $^{210}\text{Pb}$ , descendente de longo período de semi-desintegração do  $^{222}\text{Rn}$ ; ii) formação de radionuclidos cosmogénicos, como por exemplo o  $^7\text{Be}$ , 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  $^{137}\text{Cs}$ , 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 de risco radiológico, uma vez que essas partículas através dos processos de transporte e deposição atmosférica interagem 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  $^{226}\text{Ra}$ , o  $^{222}\text{Rn}$  e descendentes e o  $^3\text{H}$  (sendo o  $^3\text{H}$  normalmente de origem



antropogénica) e ainda os radionuclídeos artificiais  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$ . Estes radionuclídeos 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 radionuclídeos naturais presentes nas águas para consumo humano são o  $^3\text{H}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  e descendentes, com actividades bastante variáveis. Ocasionalmente, a presença de  $^3\text{H}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{226}\text{Ra}$  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 radionuclídeos naturais e artificiais emissores alfa e beta e/ou através da análise de radionuclídeos 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 radionuclídeos de origem natural (séries radioactivas do Urânio, Tório e Actínio e o  $^{40}\text{K}$ ) e artificial (principalmente  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  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 radionuclídeos 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 radionuclídeos artificiais normalmente detectados são o  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$ . O  $^{40}\text{K}$  sendo um radionuclídeo de origem natural está também presente no leite. O  $^{131}\text{I}$  é um radionuclídeo 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 3 e 4 estão representados graficamente o tipo de amostras e de análises e as respectivas percentagens referentes ao ano de 2006.

Neste relatório apresentam-se os resultados de monitorização da radioactividade em Portugal continental e nas regiões autónomas, nos diferentes compartimentos ambientais.

Os resultados são apresentados com uma incerteza de 95% ( $2\sigma$ ) para a medição de actividade por espectrometria gama e alfa e com uma incerteza de 68% ( $1\sigma$ ) 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.

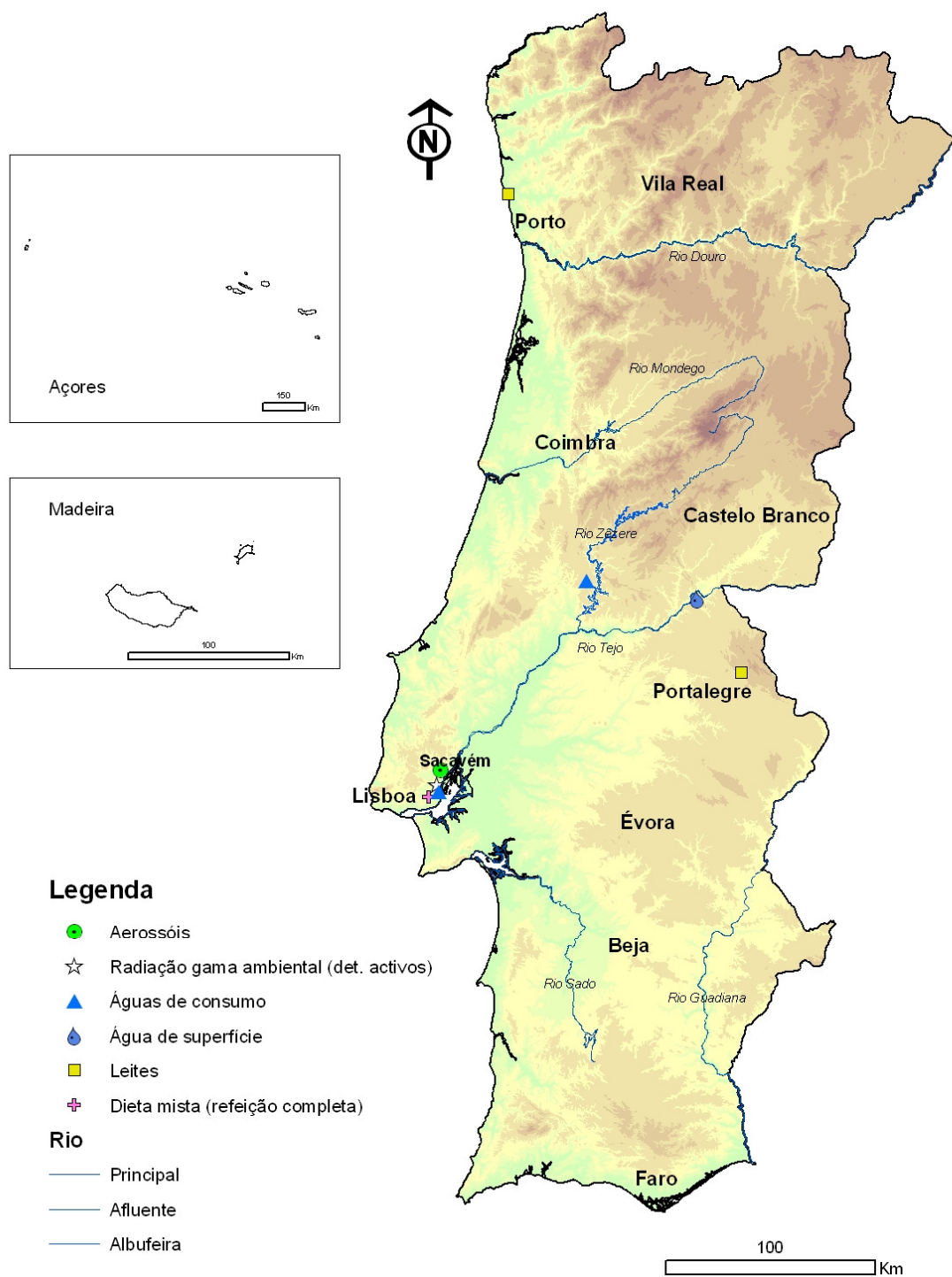


Figura 1 – Locais de amostragem e tipo de amostras analisadas na rede dispersa

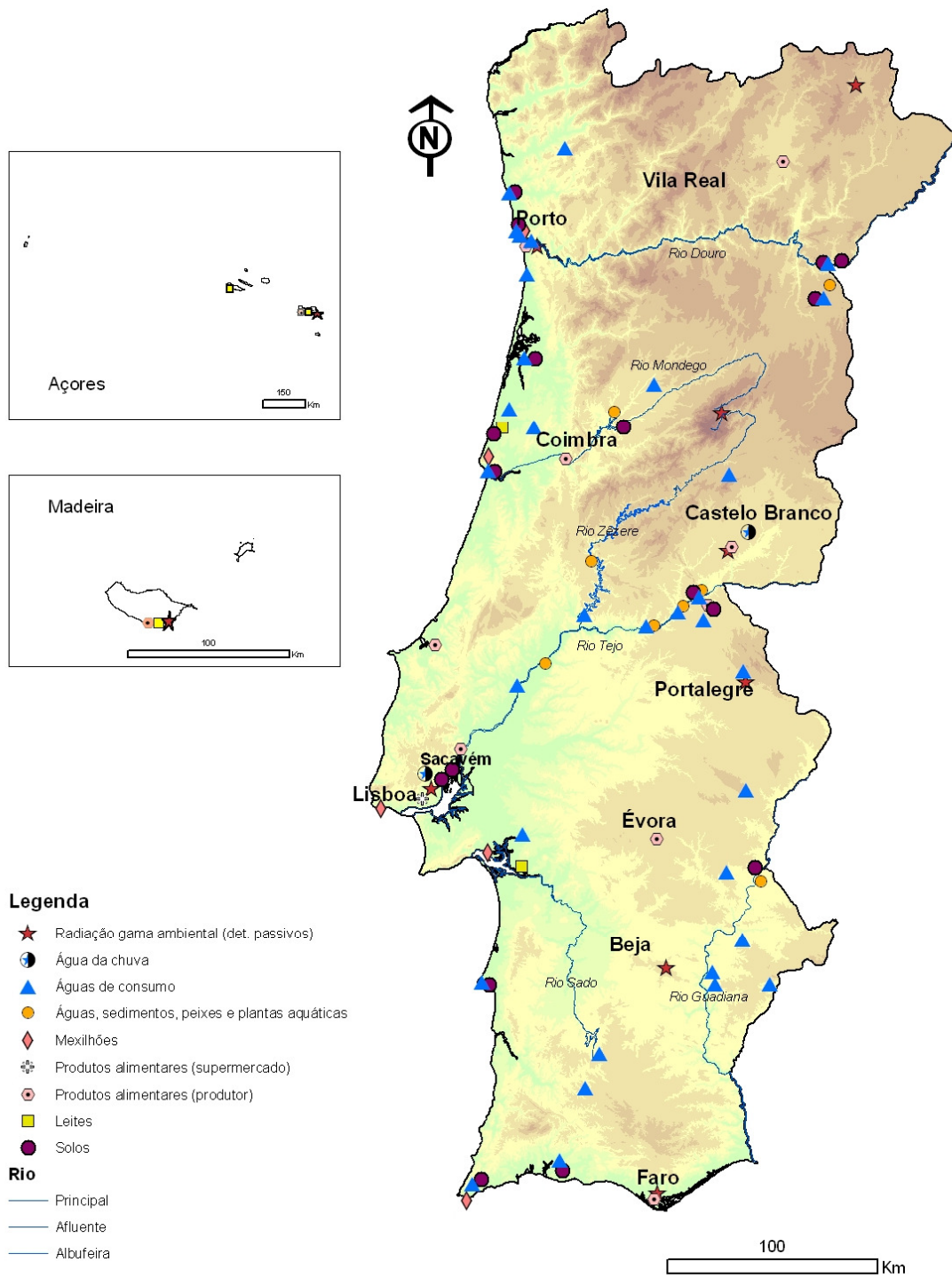
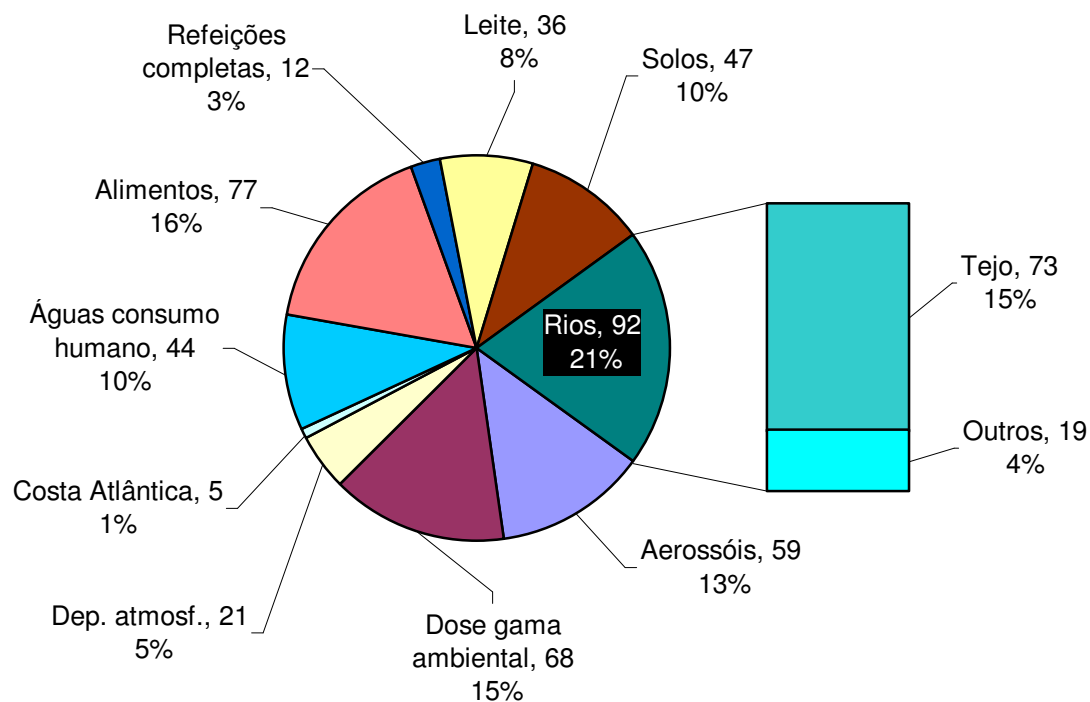
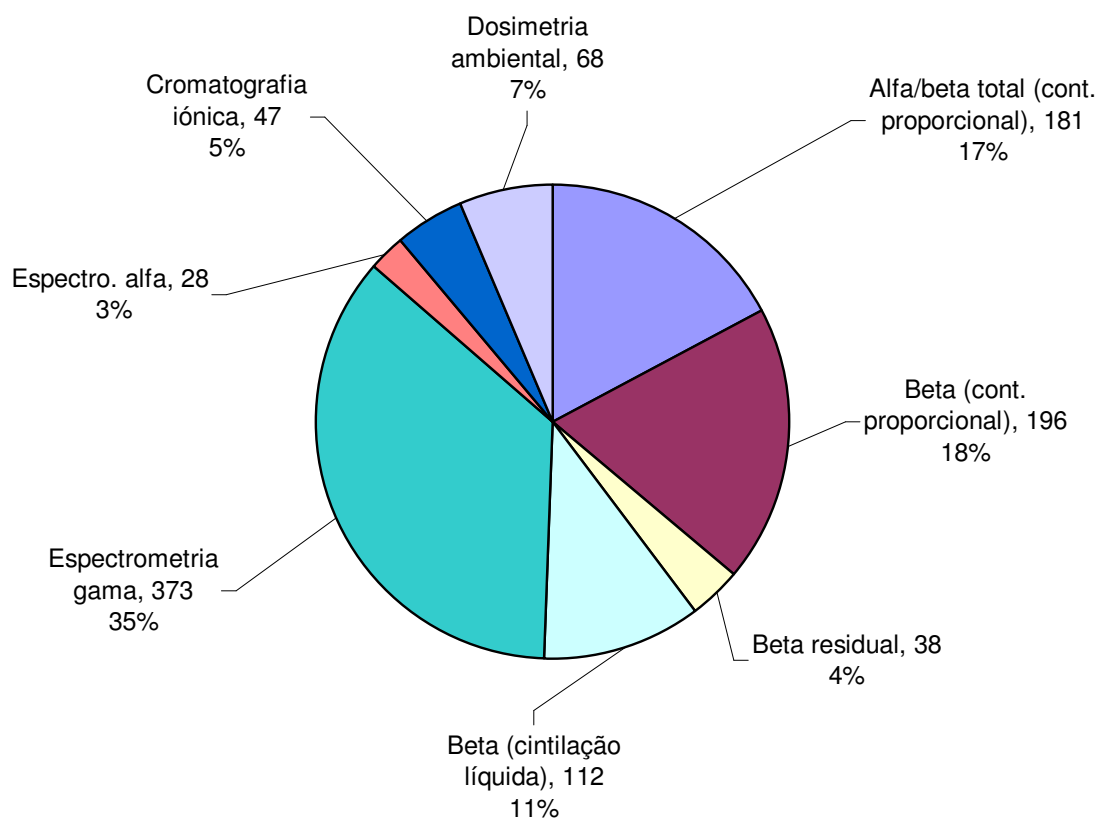


Figura 2 – Locais de amostragem e tipo de amostras analisadas na rede densa



**Figura 3 - Tipo, número de amostras analisadas e respectiva percentagem**



**Figura 4 -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 aerossóis, 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  $10^5$  m<sup>3</sup>/semana. Como substrato de recolha são utilizados filtros de polipropileno tipo G-3, de 44×44 cm<sup>2</sup>. 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). A partir do mês de Setembro passou a utilizar-se como substrato de recolha filtros Petrianov tipo FPP-15-1.5 de 44 × 44 cm<sup>2</sup>. Após cada período de amostragem os filtros são comprimidos através de uma prensa hidráulica (MATRA, GmbH), de forma a obter amostras de geometria cilíndrica (5 cm de diâmetro e 1 cm de espessura), sendo posteriormente analisadas por espectrometria  $\gamma$  em detector de Ge hiperpuro (BEGE, com 50% de eficiência relativa em 1332 keV). Os espectros resultantes são analisados com o *software* Genie 2000 (Canberra). Os sistemas foram calibrados com fontes padrão da Analytix, contendo uma mistura de radionuclídeos (<sup>210</sup>Pb, <sup>241</sup>Am, <sup>109</sup>Cd, <sup>57</sup>Co, <sup>51</sup>Cr, <sup>113</sup>Sn, <sup>85</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, <sup>88</sup>Y, <sup>60</sup>Co) 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 5 representam-se graficamente esses valores.

A concentração média mensal de partículas totais em suspensão (PTS) variou entre 16  $\mu\text{g m}^{-3}$  (em Março) e 40  $\mu\text{g m}^{-3}$  (em Maio).

A concentração de actividade média mensal em <sup>7</sup>Be variou entre  $1,9 \pm 0,1$  e  $4,3 \pm 0,2$  mBq m<sup>-3</sup>, com um valor médio anual de  $3,4 \pm 0,3$  mBq m<sup>-3</sup>, característico das latitudes médias. A concentração de actividade média mensal 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).

As concentrações mais elevadas de  $^7\text{Be}$  ocorreram nos meses de Primavera e Verão (Figura 5), altura do ano favorável à intrusão, na troposfera, de massas de ar de origem estratosférica, portadoras de aerossóis enriquecidos em  $^7\text{Be}$ . Uma tendência sazonal idêntica é também referida por outros autores (M. Azhahra *et al.*, 2003; A. Ioannidou *et al.*, 2005).

A actividade em  $^{137}\text{Cs}$  nas partículas de aerossol foi, em geral, inferior à actividade mínima detectável, à excepção dos meses de Junho, Agosto e Novembro em que se registaram valores de, respectivamente,  $0,3 \pm 0,1 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ,  $1,2 \pm 0,1 \mu\text{Bq m}^{-3}$  e  $0,7 \pm 0,6 \mu\text{Bq m}^{-3}$ .

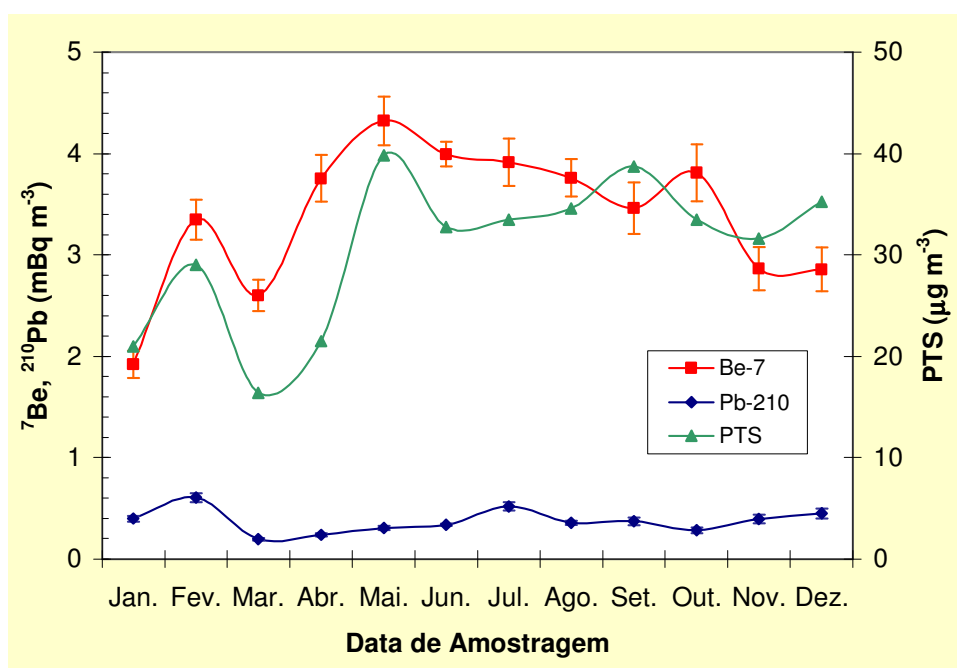
Relativamente ao  $^{210}\text{Pb}$ , a sua actividade média mensal variou entre  $0,20 \pm 0,01 \text{mBq m}^{-3}$  e  $0,61 \pm 0,05 \text{mBq m}^{-3}$ , com um valor médio anual de  $0,37 \pm 0,12 \text{mBq m}^{-3}$ , variação semelhante à registada no ano de 2005 (Madruga *et al.*, 2006).

Com base nas recomendações da Comissão Internacional de Protecção Radiológica (ICRP, 1996) aplicáveis a membros do público cujo modo de vida e metabolismo correspondem a uma população média, estimou-se a dose de radiação devida à inalação de  $^{137}\text{Cs}$  durante o ano de 2006. Numa perspectiva conservativa, considerou-se para o efeito o valor de concentração de actividade mais elevado ( $1,2 \pm 0,1 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ). Utilizou-se o respectivo factor de dose de  $4,6 \times 10^{-9} \text{Sv Bq}^{-1}$  (Basic Safety Standards, 1996; ICRP, 1996), aplicável a um adulto médio para a categoria de membro do público e uma taxa de respiração média de  $8030 \text{m}^3 \text{ano}^{-1}$  (EUR 19929 EN, 2001; EUR 20765 EN, 2005). O valor estimado para a dose efectiva resultante por inalação de  $^{137}\text{Cs}$  é de  $0,04 \text{nSv ano}^{-1}$ . Este valor, que pela metodologia seguida está sobrestimado, é idêntico ao calculado para anos anteriores (Madruga *et al.*, 2003, 2004, 2005 & 2006).

**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	$^7\text{Be}$ (mBq m <sup>-3</sup> )	$^{137}\text{Cs}$ ( $\mu\text{Bq m}^{-3}$ )	$^{210}\text{Pb}$ (mBq m <sup>-3</sup> )	PTS ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
<b>Janeiro</b>	1,9 $\pm$ 0,1	< 0,5 (a)	0,40 $\pm$ 0,03	21
<b>Fevereiro</b>	3,4 $\pm$ 0,2	< 0,5 (a)	0,61 $\pm$ 0,05	29
<b>Março</b>	2,6 $\pm$ 0,2	< 0,3 (a)	0,20 $\pm$ 0,01	16
<b>Abril</b>	3,8 $\pm$ 0,2	< 0,5 (a)	0,24 $\pm$ 0,02	22
<b>Mai</b>	4,3 $\pm$ 0,2	< 0,5 (a)	0,31 $\pm$ 0,02	40
<b>Junho</b>	4,0 $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ 0,1	0,34 $\pm$ 0,01	33
<b>Julho</b>	3,9 $\pm$ 0,2	< 0,4 (a)	0,52 $\pm$ 0,04	34
<b>Agosto</b>	3,8 $\pm$ 0,2	1,2 $\pm$ 0,1	0,36 $\pm$ 0,02	35
<b>Setembro</b>	3,5 $\pm$ 0,2	< 0,5 (a)	0,37 $\pm$ 0,04	39
<b>Outubro</b>	3,8 $\pm$ 0,3	< 0,5 (a)	0,28 $\pm$ 0,03	34
<b>Novembro</b>	2,9 $\pm$ 0,2	0,7 $\pm$ 0,6	0,40 $\pm$ 0,04	32
<b>Dezembro</b>	2,9 $\pm$ 0,2	< 0,7 (a)	0,45 $\pm$ 0,05	35
<b>Média <math>\pm \sigma</math> (n=12)</b>	<b>3,4 <math>\pm</math> 0,7</b>	-	<b>0,37 <math>\pm</math> 0,12</b>	<b>31 <math>\pm</math> 7</b>

(a) - Actividade mínima detectável em  $^{137}\text{Cs}$ .



**Figura 5 - Evolução da concentração de actividade em  $^7\text{Be}$  e  $^{210}\text{Pb}$  (mBq m<sup>-3</sup>) 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 (Figura 2). O dispositivo de recolha da amostra é constituído por um colector de deposição atmosférica total, em tronco de pirâmide quadrangular, com 1 m<sup>2</sup> de secção.

Da amostra recolhida, 1 litro é utilizado para a determinação do trítio (<sup>3</sup>H), 1 litro para a determinação da actividade beta total na matéria em suspensão ( $\varnothing > 0,45\mu\text{m}$ ), 3 a 5 litros para a determinação da actividade alfa/beta total na matéria dissolvida ( $\varnothing \leq 0,45\mu\text{m}$ ) e, num máximo de 30 litros concentrados a 1 litro (por evaporação em placa eléctrica) para a determinação dos radionuclidos emissores gama e, posteriormente para a determinação da concentração em <sup>137</sup>Cs e <sup>90</sup>Sr 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 radionuclidos (<sup>210</sup>Pb, <sup>241</sup>Am, <sup>109</sup>Cd, <sup>57</sup>Co, <sup>51</sup>Cr, <sup>113</sup>Sn, <sup>85</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, <sup>88</sup>Y, <sup>60</sup>Co) que abrange toda a gama de energias de interesse. As fontes foram preparadas com geometrias idênticas às das amostras a analisar.

As metodologias seguidas para a determinação das actividades alfa e beta total foram as das Normas Portuguesas NP 4332 (1996) e NP 4330 (1996) respectivamente. A medição de radioactividade alfa e beta total é feita em simultâneo num sistema de contagem  $\alpha/\beta$  munido de detectores proporcionais de fluxo gasoso (TENNELEC, Canberra), previamente calibrado com padrões alfa (<sup>241</sup>Am) e beta (<sup>40</sup>K).

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

A metodologia seguida para a determinação da radioactividade devida ao <sup>3</sup>H 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 <sup>90</sup>Sr e <sup>137</sup>Cs foram utilizadas técnicas radioquímicas baseadas em separações e purificações sucessivas, fixando-se o <sup>90</sup>Sr numa resina específica da EICHRON e o <sup>137</sup>Cs 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 de 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 obtidos multiplicando a actividade específica, em  $\text{Bq L}^{-1}$ , pela precipitação acumulada mensalmente, em mm, e correspondem a valores de deposição total (por via húmida e seca), uma vez que os colectores se encontram expostos durante a totalidade do período de amostragem, mesmo na ausência de precipitação. Nas Figuras 5 e 6 estão representados graficamente os valores dos fluxos mensais de deposição em actividade alfa e beta totais,  $^7\text{Be}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e os valores de precipitação em Sacavém e Castelo Branco, respectivamente.

Pode-se observar que, de uma forma geral, os fluxos mensais de deposição seguem a evolução da precipitação ao longo do ano. Verifica-se que a deposição acumulada ao longo do ano de 2006 é superior em Castelo Branco, excepto no caso da actividade beta total que é superior em Sacavém. De qualquer forma, comparativamente aos dois anos anteriores, os valores totais de deposição são significativamente mais elevados, o que se deve ao facto dos anos de 2004 e 2005 terem sido anormalmente secos.

Os coeficientes de correlação entre os fluxos de deposição total e a quantidade de precipitação (para o  $^7\text{Be}$  e a actividade beta total), mantêm a tendência, já verificada em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2003, 2004, 2005 & 2006), de valores mais elevados para a estação de Castelo Branco, o que pode indiciar um maior contributo da deposição por via seca (relativamente ao fluxo de deposição total) na estação de Sacavém.

**Tabela 2 - Valores de actividade específica, A (Bq L<sup>-1</sup>), 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 <sup>7</sup>Be e de 68 % (1σ) para os restantes radionuclidos e actividades alfa/beta totais.**

Data de Colheita	<sup>3</sup> H	Água filtrada Ø ≤ 0,45 µm					Partículas em suspensão Ø > 0,45 µm
		<sup>7</sup> Be	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	Beta total	Alfa total	Beta total
<b>Janeiro</b>	< 0,8 (a)	0,05 ± 0,01	< 0,4 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 0,8 x 10 <sup>-3</sup> (c)	0,017 ± 0,002	< 0,015 (f)	0,06 ± 0,01
<b>Fevereiro</b>	< 0,8 (a)	0,7 ± 0,1	< 0,3 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 0,5 x 10 <sup>-3</sup> (c)	0,022 ± 0,002	< 0,015 (f)	0,031 ± 0,004
<b>Março</b>	< 0,8 (a)	0,24 ± 0,03	< 0,4 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 1,0 x 10 <sup>-3</sup> (c)	0,017 ± 0,002	< 0,015 (f)	0,03 ± 0,01
<b>Abril</b>	< 0,8 (a)	0,15 ± 0,03	(0,9 ± 0,7) x 10 <sup>-3</sup>	< 1,0 x 10 <sup>-3</sup> (c)	0,040 ± 0,003	0,036 ± 0,007	< 0,01 (e)
<b>Maio</b>	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
<b>Junho</b>	4,8 ± 0,8	< 0,04	(h)	< 0,7 x 10 <sup>-3</sup> (c)	0,039 ± 0,006	< 0,015 (e)	< 0,01 (e)
<b>Julho</b>	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)
<b>Agosto</b>	2,7 ± 0,9	(d)	(d)	(d)	0,099 ± 0,007	0,045 ± 0,010	(g)
<b>Setembro</b>	< 0,8 (a)	< 0,04	< 0,8 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 1,0 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 0,010 (e)	0,039 ± 0,001	< 0,01 (e)
<b>Outubro</b>	< 0,8 (a)	0,27 ± 0,04	< 0,9 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 1,0 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 0,010 (e)	< 0,015 (f)	< 0,01 (e)
<b>Novembro</b>	< 0,8 (a)	0,49 ± 0,05	(1,9 ± 0,4) x 10 <sup>-3</sup>	< 1,0 x 10 <sup>-3</sup> (c)	0,010 ± 0,001	< 0,015 (f)	0,026 ± 0,004
<b>Dezembro</b>	< 0,8 (a)	0,7 ± 0,1	< 0,8 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 1,2 x 10 <sup>-3</sup> (c)	0,011 ± 0,001	< 0,015 (f)	< 0,01 (e)

Actividade mínima detectável em <sup>3</sup>H (a), <sup>137</sup>Cs e <sup>90</sup>Sr (c) actividade beta total (e) e actividade alfa total (f); (b) Não houve precipitação; (d) Volume de amostra insuficiente para análise; (g) Amostra perdida durante a análise; (h) Resultado da medição não fiável.

**Tabela 3 - Valores de actividade específica, A (Bq L<sup>-1</sup>), 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 <sup>7</sup>Be e de 68% (1σ) para os restantes radionuclidos e actividades alfa/beta totais.**

Data de Colheita	<sup>3</sup> H	Água filtrada Ø ≤ 0,45 µm					Partículas em suspensão Ø > 0,45 µm
		<sup>7</sup> Be	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	Beta total	Alfa total	Beta total
<b>Janeiro</b>	< 0,8 (a)	0,42 ± 0,04	(0,8 ± 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,4 x 10 <sup>-3</sup> (c)	0,018 ± 0,002	< 0,015 (f)	0,05 ± 0,01
<b>Fevereiro</b>	< 0,8 (a)	0,21 ± 0,03	< 0,4 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 0,5 x 10 <sup>-3</sup> (c)	0,012 ± 0,001	< 0,015 (f)	0,022 ± 0,004
<b>Março</b>	1,7 ± 0,6	0,37 ± 0,04	< 0,4 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 0,8 x 10 <sup>-3</sup> (c)	0,031 ± 0,002	0,022 ± 0,003	0,05 ± 0,01
<b>Abril</b>	1,6 ± 0,9	0,16 ± 0,01	< 1,9 x 10 <sup>-3</sup> (c)	(2,3 ± 1,3) x 10 <sup>-3</sup>	0,010 ± 0,001	< 0,015 (f)	< 0,01 (e)
<b>Maió</b>	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
<b>Junho</b>	1,2 ± 0,7	< 0,04	(3,9 ± 1,6) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,9 x 10 <sup>-3</sup> (c)	0,022 ± 0,005	0,040 ± 0,013	< 0,01 (e)
<b>Julho</b>	< 0,8 (a)	< 1,2	< 0,8 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 1,0 x 10 <sup>-3</sup> (c)	0,016 ± 0,001	< 0,015 (f)	0,041 ± 0,004
<b>Agosto</b>	< 0,8 (a)	< 0,2	< 0,9 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 1,1 x 10 <sup>-3</sup> (c)	0,019 ± 0,001	0,020 ± 0,002	(g)
<b>Setembro</b>	1,9 ± 0,9	0,19 ± 0,03	< 1,8 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 1,7 x 10 <sup>-3</sup> (c)	0,010 ± 0,001	< 0,015 (f)	< 0,01 (e)
<b>Outubro</b>	< 0,8 (a)	0,5 ± 0,1	(1,7 ± 0,4) x 10 <sup>-3</sup>	< 1,1 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 0,01 (e)	< 0,015 (f)	0,019 ± 0,003
<b>Novembro</b>	< 0,8 (a)	0,6 ± 0,1	(1,3 ± 0,3) x 10 <sup>-3</sup>	< 1,0 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 0,01 (e)	< 0,015 (f)	0,025 ± 0,004
<b>Dezembro</b>	< 0,8 (a)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	< 0,01 (e)

Actividade mínima detectável em <sup>3</sup>H (a), <sup>137</sup>Cs e <sup>90</sup>Sr (c) actividade beta total (e) e actividade alfa total (f); (b) Não houve precipitação; (d) Volume de amostra insuficiente para análise; (g) Amostra perdida durante a análise.

**Tabela 4 – Fluxos mensais de deposição atmosférica ( $Bq\ m^{-2}$ ) em Sacavém (ITN). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% ( $2\sigma$ ) para o  $^7Be$  e de 68% ( $1\sigma$ ) para os restantes radionuclidos e actividades alfa/beta totais.**

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	Alfa total	Beta total
<b>Janeiro</b>	34	(a)	$1,7 \pm 0,3$	(a)	(a)	$0,6 \pm 0,1$	(a)	$2,0 \pm 0,3$
<b>Fevereiro</b>	70	(a)	$52 \pm 5$	(a)	(a)	$1,5 \pm 0,1$	(a)	$2,2 \pm 0,3$
<b>Março</b>	130	(a)	$31 \pm 4$	(a)	(a)	$2,2 \pm 0,3$	(a)	$4 \pm 1$
<b>Abril</b>	33	(a)	$5 \pm 1$	$0,03 \pm 0,02$	(a)	$1,3 \pm 0,1$	$1,2 \pm 0,2$	(a)
<b>Maió</b>	0	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
<b>Junho</b>	31	$149 \pm 25$	(a)	(e)	(a)	$1,2 \pm 0,2$	(a)	(a)
<b>Julho</b>	0,8	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)
<b>Agosto</b>	9	$24 \pm 8$	(d)	(d)	(d)	$0,9 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,1$	(c)
<b>Setembro</b>	68	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	$2,6 \pm 0,1$	(a)
<b>Outubro</b>	208	(a)	$56 \pm 8$	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
<b>Novembro</b>	212	(a)	$104 \pm 11$	$0,4 \pm 0,1$	(a)	$2,1 \pm 0,2$	(a)	$5,5 \pm 0,8$
<b>Dezembro</b>	49	(a)	$34 \pm 3$	(a)	(a)	$0,54 \pm 0,05$	(a)	(a)

(a) Actividade medida na água da chuva inferior à actividade mínima detectável; (b) Não houve precipitação; (c) Amostra perdida durante a análise; (d) Volume de amostra insuficiente para análise; (e) Resultado da medição não fiável.

\* Dados obtidos no site Instituto de Meteorologia (<http://www.meteo.pt>);

**Tabela 5 – Fluxos mensais de deposição atmosférica (Bq m<sup>-2</sup>) em Castelo Branco (estação meteorológica). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para o <sup>7</sup>Be e de 68% (1σ) para os restantes radionuclídeos e actividades alfa/beta totais.**

Data de colheita	Precipitação (mm)*	<sup>3</sup> H	Água filtrada Ø ≤ 0,45 µm					Partículas em suspensão Ø > 0,45
			<sup>7</sup> Be	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	Beta total	Alfa total	Beta total
<b>Janeiro</b>	27	(a)	11 ± 1	0,02 ± 0,02	(a)	0,49 ± 0,05	(a)	1,4 ± 0,3
<b>Fevereiro</b>	54	(a)	11 ± 2	(a)	(a)	0,65 ± 0,05	(a)	1,2 ± 0,2
<b>Março</b>	136	231 ± 82	50 ± 5	(a)	(a)	4,2 ± 0,3	3,0 ± 0,4	7 ± 1
<b>Abril</b>	62	99 ± 56	10 ± 1	(a)	0,14 ± 0,08	0,6 ± 0,1	(a)	(a)
<b>Mai</b>	0	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)	(b)
<b>Junho</b>	41	49 ± 29	(a)	0,2 ± 0,1	(a)	0,9 ± 0,2	1,6 ± 0,5	(a)
<b>Julho</b>	24	(a)	(a)	(a)	(a)	0,38 ± 0,02	(a)	1,0 ± 0,1
<b>Agosto</b>	15	(a)	(a)	(a)	(a)	0,28 ± 0,02	0,30 ± 0,03	(c)
<b>Setembro</b>	60	114 ± 54	11 ± 2	(a)	(a)	0,6 ± 0,1	(a)	(a)
<b>Outubro</b>	227	(a)	107 ± 16	0,4 ± 0,1	(a)	(a)	(a)	4,3 ± 0,7
<b>Novembro</b>	375	(a)	244 ± 26	0,5 ± 0,1	(a)	(a)	(a)	9 ± 2
<b>Dezembro</b>	43	(a)	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	(a)

(a) Actividade medida na água da chuva inferior à actividade mínima detectável; (b) Não houve precipitação; (c) Amostra perdida durante a análise; (d) Volume de amostra insuficiente para análise. O volume de amostra recolhido não corresponde ao valor da precipitação.

\* Dados obtidos no site Instituto de Meteorologia (<http://www.meteo.pt>);

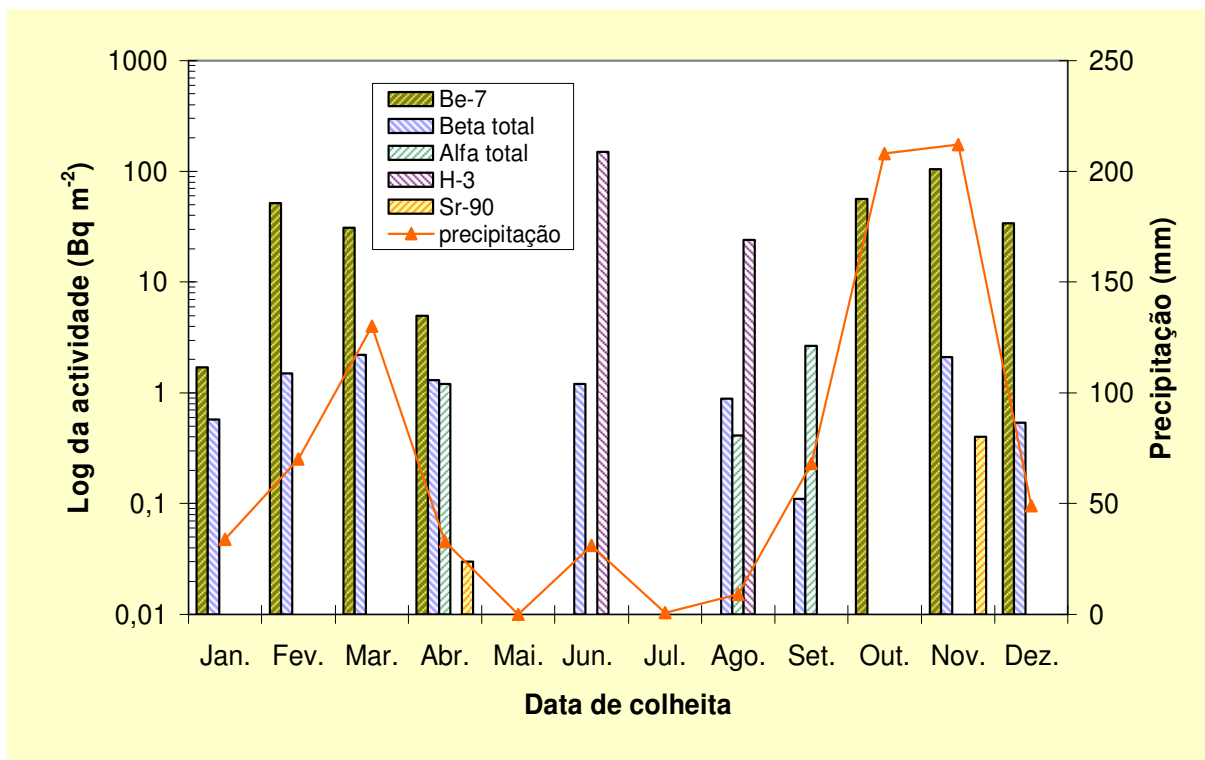


Figura 6 - Evolução dos fluxos mensais de deposição atmosférica em <sup>7</sup>Be, <sup>3</sup>H, <sup>90</sup>Sr, beta total e alfa total em Sacavém (Campus ITN)

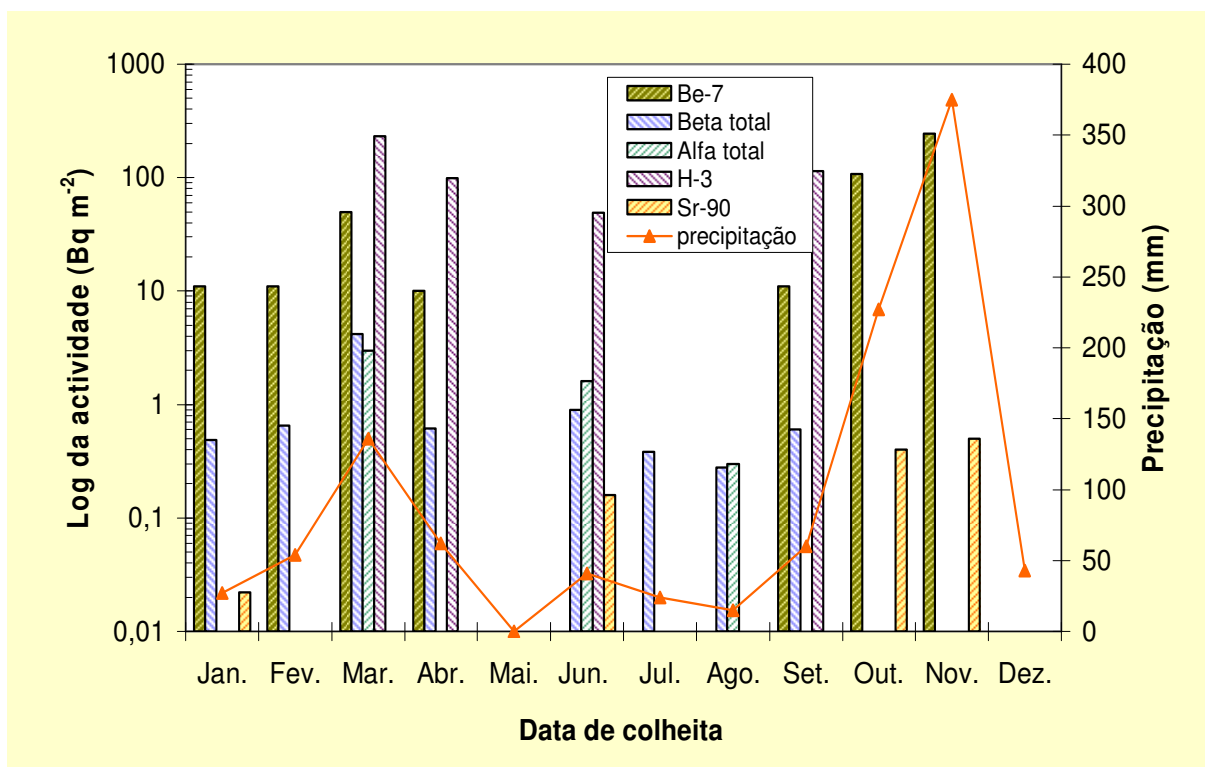


Figura 7 - Evolução dos fluxos mensais de deposição atmosférica em <sup>7</sup>Be, <sup>3</sup>H, <sup>90</sup>Sr, beta total e alfa total em Castelo Branco (estação meteorológica)

### 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 nas Figuras 1 e 2.

##### 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  $^{40}\text{K}$ , 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  $^{40}\text{K}$ , permitiu calcular a actividade beta residual (Gomes *et al.*, 2005).

Nas amostras de água, efectuaram-se ainda as determinações de actividade em  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^3\text{H}$ , por métodos radioquímicos, seguidos de medição beta. Na água do rio Zêzere procedeu-se também à determinação da actividade alfa total. As metodologias utilizadas estão descritas 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 ( $250\mu\text{m} \geq \varnothing >$



63µm) 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.) 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 matéria dissolvida (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 (água filtrada) são  $0,16 \pm 0,05$  Bq L<sup>-1</sup> em Vila Velha de Ródão e  $0,13 \pm 0,05$  Bq L<sup>-1</sup> em Valada, para a matéria dissolvida, e inferiores a 0,01 Bq L<sup>-1</sup> para as partículas em suspensão (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 de  $0,05 \pm 0,02$  Bq L<sup>-1</sup> em Vila Velha de Ródão e valores inferiores a 0,04 Bq L<sup>-1</sup> em Valada. Os valores da actividade beta residual são da mesma ordem de grandeza dos obtidos em anos anteriores (Rodrigues *et al.*, 2007) e dos valores observados em águas de superfície colhidas em rios espanhóis (Calvo *et al.*, 2005).

Os valores da actividade específica em <sup>137</sup>Cs são, em média, inferiores a 1,2 mBq L<sup>-1</sup> mantendo-se relativamente constantes ao longo do ano, com excepção do valor de  $4,7 \pm 0,5$  mBq L<sup>-1</sup> obtido em Novembro em V. Velha de Ródão e dos valores de  $3,5 \pm 0,9$  mBq L<sup>-1</sup> e

1,7±0,8 mBq L<sup>-1</sup> obtidos em Valada nos meses de Janeiro e Junho respectivamente. Para o <sup>90</sup>Sr os valores médios anuais obtidos são ligeiramente superiores em V. Velha de Ródão < 2,2 mBq L<sup>-1</sup> do que em Valada < 1,8 mBq L<sup>-1</sup>. Os valores variam entre valores inferiores a 0,8 mBq L<sup>-1</sup> (Junho) e 4,7±0,6 mBq L<sup>-1</sup> (Novembro) e entre valores inferiores a 0,3 mBq L<sup>-1</sup> (Abril) e 4,6±0,8 mBq L<sup>-1</sup> (Fevereiro) em V. Velha de Ródão e Valada respectivamente (Figura 8). Os valores da actividade específica em águas de superfície colhidas nas Barragens de Fratel e Belver (Tabelas 8 e 9, Figura 8) são da mesma ordem de grandeza dos obtidos em V. Velha de Ródão e Valada. Alguns autores (Grabowski, 2000) reportam valores médios anuais em <sup>137</sup>Cs, em águas de superfície, que variam entre 1,8 e 6,4 mBq L<sup>-1</sup>.

Os valores de actividade específica anual, A, em <sup>3</sup>H no rio Tejo são 14,6±7,9 Bq L<sup>-1</sup> e 9,9±5,3 Bq L<sup>-1</sup> em V. Velha de Ródão e Valada respectivamente (Tabelas 6 e 7). Na Barragem de Fratel, os valores em <sup>3</sup>H variam entre 2,0±0,9 Bq L<sup>-1</sup> e 17,6±0,7 Bq L<sup>-1</sup> (Tabela 8) e na Barragem de Belver entre 10,6±1,1 Bq L<sup>-1</sup> e 18,9±1,0 Bq L<sup>-1</sup> (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 (< 0,01 Bq L<sup>-1</sup>) é igual ao obtido para o rio Tejo (Tabelas 6 e 7) enquanto que para a matéria dissolvida esse valor é inferior (0,048±0,013 Bq L<sup>-1</sup>). Este resultado está relacionado com a concentração dos radionuclidos em solução, como p.ex. o <sup>40</sup>K, que, no caso do rio Zêzere, é cerca de metade do valor observado para o rio Tejo (Gomes *et al*, 2005; Rodrigues *et al*, 2007). Para a actividade beta residual o valor médio anual obtido para o rio Zêzere (< 0,01 Bq L<sup>-1</sup>) é inferior aos valores observados para o rio Tejo (Tabelas 6 a 9). O valor médio anual da actividade alfa total na matéria dissolvida é inferior a 0,021 Bq L<sup>-1</sup>. Verifica-se que os valores obtidos para o <sup>137</sup>Cs e <sup>90</sup>Sr (Tabela 10) são da mesma ordem de grandeza dos observados no rio Tejo com excepção dos valores observados em Junho (6,0±0,7 Bq L<sup>-1</sup>) e Outubro (9,5±0,5 Bq L<sup>-1</sup>) que são mais elevados (Figura 8). Pela uniformidade dos valores obtidos para os dois rios, excluindo os valores observados em Junho e Outubro no rio Zêzere, poder-se-á inferir que a existência destes radionuclidos é devida principalmente ao “fallout”. Relativamente ao <sup>3</sup>H, constata-se que os valores observados para o rio Zêzere variam entre 1,9±0,8 Bq L<sup>-1</sup> (valor medido no mês de Julho) e o valor da actividade mínima detectável (0,8 Bq L<sup>-1</sup>), sendo cerca de uma ordem de grandeza inferiores aos obtidos para o rio Tejo.

Na Figura 9 estão representados os valores mensais das concentrações de actividade em <sup>3</sup>H 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 9 verifica-se que a

actividade em  $^3\text{H}$  varia ao longo do ano sendo essa variação mais acentuada em V. Velha de Ródão o que pode estar relacionado com as descargas, no rio Tejo, da Central Nuclear de Almaraz em Espanha. Estudos efectuados sobre a evolução espacial e temporal dos níveis de  $^3\text{H}$  em água do rio Tejo em Espanha e Portugal (Baeza *et al.*, 2005) demonstraram que a concentração em  $^3\text{H}$  varia ciclicamente com períodos de cerca de dois anos a montante da Central Nuclear e de cerca de 1 ano a jusante. A diminuição da concentração de actividade em  $^3\text{H}$  de V. Velha de Ródão para Valada pode ser devida à diluição do trítio na água, ao longo do rio. Este mesmo comportamento tem vindo a ser observado ao longo dos anos (Madruga *et al.*, 2003, 2004, 2005 & 2006; Madruga *et al.*, 2007).

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,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  são da mesma ordem de grandeza dos observados para o rio Tejo. Os valores de concentração de actividade em  $^3\text{H}$  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<sup>-1</sup>), em <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>3</sup>H, 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		<sup>3</sup> H	Água filtrada Ø ≤ 0,45µm				
	Concentração mg L <sup>-1</sup>	Beta total		Sais dissolvidos Concentração mg L <sup>-1</sup>	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	Beta total	Beta residual
<b>Janeiro</b>	2,8 ± 0,1	0,02 ± 0,01	1,3 ± 0,1	498,3 ± 0,1	< 1,1 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(2,0 ± 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	0,18 ± 0,01	0,07 ± 0,01
<b>Fevereiro</b>	3,5 ± 0,1	0,02 ± 0,01	23,4 ± 1,1	359,1 ± 0,1	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(2,1 ± 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	0,17 ± 0,01	0,05 ± 0,01
<b>Março</b>	6,2 ± 0,1	< 0,01 (a)	7,3 ± 0,6	461,6 ± 0,1	< 0,5 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(1,6 ± 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	0,20 ± 0,01	0,08 ± 0,01
<b>Abril</b>	3,8 ± 0,1	0,02 ± 0,01	12,2 ± 0,8	446,3 ± 0,1	< 0,8 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(1,7 ± 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	0,19 ± 0,01	0,05 ± 0,01
<b>Maió</b>	4,9 ± 0,1	< 0,01 (a)	14,0 ± 1,0	514,9 ± 0,1	< 0,9 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(1,5 ± 0,7) x 10 <sup>-3</sup>	0,23 ± 0,01	0,09 ± 0,02
<b>Junho</b>	4,0 ± 0,1	< 0,01 (a)	23,5 ± 0,8	510,4 ± 0,1	< 0,7 x 10 <sup>-3</sup> (b)	< 0,8 x 10 <sup>-3</sup> (d)	0,21 ± 0,01	0,05 ± 0,01
<b>Julho</b>	4,8 ± 0,1	< 0,01 (a)	13,8 ± 0,8	493,4 ± 0,1	< 0,8 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(c)	0,18 ± 0,01	0,03 ± 0,01
<b>Agosto</b>	2,2 ± 0,1	< 0,01 (a)	15,5 ± 0,8	511,3 ± 0,1	< 1,2 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(2,3 ± 0,4) x 10 <sup>-3</sup>	0,17 ± 0,01	0,03 ± 0,01
<b>Setembro</b>	5,3 ± 0,1	< 0,01 (a)	18,4 ± 0,6	471,4 ± 0,1	< 1,0 x 10 <sup>-3</sup> (b)	< 0,9 x 10 <sup>-3</sup> (d)	0,17 ± 0,01	0,05 ± 0,01
<b>Outubro</b>	7,4 ± 0,1	< 0,01 (a)	28,8 ± 1,0	167,8 ± 0,1	< 1,2 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(3,2 ± 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,01
<b>Novembro</b>	7,5 ± 0,1	< 0,01 (a)	7,7 ± 1,0	182,2 ± 0,1	(4,7 ± 0,5) x 10 <sup>-3</sup>	(4,7 ± 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	0,13 ± 0,01	0,06 ± 0,01
<b>Dezembro</b>	2,9 ± 0,1	0,019 ± 0,003	9,3 ± 0,8	169,2 ± 0,1	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(3,5 ± 0,5) x 10 <sup>-3</sup>	0,08 ± 0,01	0,02 ± 0,01
<b>Média ± σ</b>	<b>4,6 ± 1,7 (n=12)</b>	<b>&lt; 0,01 (n=12)</b>	<b>14,6 ± 7,9 (n=12)</b>	<b>398,8 ± 142,5 (n=12)</b>	<b>&lt; 1,2 x 10<sup>-3</sup> (n=12)</b>	<b>&lt; 2,2 x 10<sup>-3</sup> (n=11)</b>	<b>0,16 ± 0,05 (n=12)</b>	<b>0,05 ± 0,02 (n=12)</b>

Actividade mínima detectável em beta total (a), <sup>137</sup>Cs (b) e <sup>90</sup>Sr (d). (c) Resultado da medição não fiável;

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

Data de colheita	Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45\mu\text{m}$		<sup>3</sup> H	Água filtrada $\varnothing \leq 0,45\mu\text{m}$				
	Concentração mg L <sup>-1</sup>	Beta total		Sais dissolvidos Concentração mg L <sup>-1</sup>	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	Beta total	Beta residual
<b>Janeiro</b>	5,0 ± 0,1	< 0,01 (a)	7,5 ± 0,7	300,0 ± 0,1	(3,5 ± 1,2) x 10 <sup>-3</sup>	(3,4 ± 0,9) x 10 <sup>-3</sup>	0,10 ± 0,01	0,03 ± 0,01
<b>Fevereiro</b>	5,2 ± 0,1	0,03 ± 0,01	7,7 ± 0,7	200,0 ± 0,1	< 0,7 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(4,6 ± 0,8) x 10 <sup>-3</sup>	0,08 ± 0,01	0,02 ± 0,01
<b>Março</b>	8,6 ± 0,1	0,03 ± 0,01	5,5 ± 0,6	277,9 ± 0,1	< 0,5 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(0,7 ± 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	0,12 ± 0,01	0,04 ± 0,01
<b>Abril</b>	7,6 ± 0,1	< 0,01 (a)	4,7 ± 0,7	304,9 ± 0,1	< 0,7 x 10 <sup>-3</sup> (b)	< 0,3 x 10 <sup>-3</sup> (b)	0,13 ± 0,01	0,03 ± 0,01
<b>Mai</b>	2,2 ± 0,1	< 0,01 (a)	9,9 ± 0,9	439,1 ± 0,1	< 0,7 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(0,8 ± 0,5) x 10 <sup>-3</sup>	0,15 ± 0,01	0,02 ± 0,01
<b>Junho</b>	1,8 ± 0,1	< 0,01 (a)	13,9 ± 0,7	346,4 ± 0,1	(1,7 ± 0,8) x 10 <sup>-3</sup>	(2,3 ± 0,5) x 10 <sup>-3</sup>	0,14 ± 0,01	< 0,01 (a)
<b>Julho</b>	2,6 ± 0,1	< 0,01 (a)	17,3 ± 0,9	538,8 ± 0,1	< 1,1 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(c)	0,24 ± 0,01	0,11 ± 0,01
<b>Agosto</b>	2,0 ± 0,1	< 0,01 (a)	16,9 ± 0,9	448,2 ± 0,1	< 1,3 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(1,3 ± 0,3) x 10 <sup>-3</sup>	0,17 ± 0,01	0,04 ± 0,01
<b>Setembro</b>	8,9 ± 0,1	< 0,01 (a)	16,8 ± 0,6	479,1 ± 0,1	< 1,0 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(1,2 ± 0,3) x 10 <sup>-3</sup>	0,19 ± 0,01	0,06 ± 0,01
<b>Outubro</b>	3,9 ± 0,1	< 0,01 (a)	11,1 ± 0,9	344,8 ± 0,1	< 1,1 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(1,5 ± 0,4) x 10 <sup>-3</sup>	0,13 ± 0,01	0,02 ± 0,01
<b>Novembro</b>	4,9 ± 0,1	0,022 ± 0,004	2,2 ± 0,9	131,5 ± 0,1	< 1,0 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(2,3 ± 0,4) x 10 <sup>-3</sup>	0,07 ± 0,01	0,02 ± 0,01
<b>Dezembro</b>	2,9 ± 0,1	0,017 ± 0,003	5,2 ± 0,8	213,0 ± 0,1	< 0,7 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(1,4 ± 0,4) x 10 <sup>-3</sup> *	0,09 ± 0,01	0,02 ± 0,01
<b>Média ± σ</b>	<b>4,6 ± 2,6</b> (n=12)	<b>&lt; 0,01</b> (n=12)	<b>9,9 ± 5,3</b> (n=12)	<b>336,8 ± 123,1</b> (n=12)	<b>&lt; 1,2 x 10<sup>-3</sup></b> (n=12)	<b>&lt; 1,8 x 10<sup>-3</sup></b> (n=11)	<b>0,13 ± 0,05</b> (n=12)	<b>&lt; 0,04</b> (n=12)

Actividade mínima detectável em beta total e residual (a) e em <sup>137</sup>Cs (b); (c) Resultado da medição não fiável; \* Perda parcial da amostra.

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

Data de colheita	Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45\mu\text{m}$		<sup>3</sup> H	Água filtrada $\varnothing \leq 0,45\mu\text{m}$				
	Concentração mg L <sup>-1</sup>	Beta total		Sais dissolvidos Concentração mg L <sup>-1</sup>	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	Beta total	Beta residual
<b>Fevereiro</b>	3,9 ± 0,1	< 0,01 (a)	7,2 ± 1,4	311,6 ± 0,1	(0,9 ± 0,7) x 10 <sup>-3</sup>	(2,1 ± 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	0,15 ± 0,01	0,02 ± 0,01
<b>Mai</b>	6,3 ± 0,1	< 0,01 (a)	13,2 ± 1,0	465,3 ± 0,1	(1,1 ± 0,9) x 10 <sup>-3</sup>	< 1,0 x 10 <sup>-3</sup> (b)	0,20 ± 0,01	0,07 ± 0,02
<b>Agosto</b>	2,2 ± 0,1	< 0,01 (a)	17,6 ± 0,7	486,1 ± 0,1	< 0,8 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(c)	0,19 ± 0,01	0,04 ± 0,01
<b>Novembro</b>	9,5 ± 0,1	< 0,01 (a)	2,0 ± 0,9	167,8 ± 0,1	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(2,4 ± 0,4) x 10 <sup>-3</sup>	0,10 ± 0,01	0,04 ± 0,01

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

Data de colheita	Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45\mu\text{m}$		<sup>3</sup> H	Água filtrada $\varnothing \leq 0,45\mu\text{m}$				
	Concentração mg L <sup>-1</sup>	Beta total		Sais dissolvidos Concentração mg L <sup>-1</sup>	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	Beta total	Beta residual
<b>Fevereiro</b>	9,1 ± 0,1	< 0,01 (a)	10,6 ± 1,1	269,7 ± 0,1	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(2,1 ± 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	0,13 ± 0,01	0,04 ± 0,01
<b>Mai</b>	8,8 ± 0,1	< 0,01 (a)	18,9 ± 1,0	455,0 ± 0,1	(1,5 ± 1,0) x 10 <sup>-3</sup>	(1,9 ± 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	0,22 ± 0,01	< 0,01 (a)
<b>Agosto</b>	4,3 ± 0,1	< 0,01 (a)	12,9 ± 0,6	263,2 ± 0,1	< 0,7 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(c)	0,09 ± 0,01	< 0,01 (a)
<b>Dezembro</b>	7,1 ± 0,1	< 0,01 (a)	13,4 ± 0,8	175,2 ± 0,1	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(2,2 ± 0,4) x 10 <sup>-3</sup>	0,09 ± 0,01	0,02 ± 0,01

Actividade mínima detectável em beta total e residual (a) e em <sup>137</sup>Cs (b); (c) Resultado da medição não fiável;

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

Data de colheita	Partículas em suspensão Ø > 0,45µm		<sup>3</sup> H	Água filtrada Ø ≤ 0,45µm					
	Concentração mg L <sup>-1</sup>	Beta total		Sais dissolvidos Concentração mg L <sup>-1</sup>	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	Alfa total	Beta total	Beta residual
<b>Janeiro</b>	3,6 ± 0,1	0,02 ± 0,01	< 0,8 (b)	56,2 ± 0,1	< 1,0 x 10 <sup>-3</sup> (c)	(3,1 ± 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,015 (d)	0,039±0,003	< 0,01 (a)
<b>Fevereiro</b>	1,2 ± 0,1	< 0,01 (a)	< 0,8 (b)	89,5 ± 0,1	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (c)	(3,0 ± 0,7) x 10 <sup>-3</sup>	0,047±0,009	0,085±0,005	< 0,01 (a)
<b>Março</b>	7,7 ± 0,1	< 0,01 (a)	< 0,8 (b)	56,4 ± 0,1	< 0,5 x 10 <sup>-3</sup> (c)	(2,2 ± 0,5) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,015 (d)	0,043±0,003	< 0,01 (a)
<b>Abril</b>	2,3 ± 0,1	< 0,01 (a)	< 0,8 (b)	58,0 ± 0,1	< 0,8 x 10 <sup>-3</sup> (c)	(1,4 ± 0,7) x 10 <sup>-3</sup>	0,017±0,005	0,041±0,004	< 0,01 (a)
<b>Maió</b>	2,2 ± 0,1	< 0,01 (a)	1,3 ± 0,9	59,3 ± 0,1	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 0,9 x 10 <sup>-3</sup> (c)	0,015±0,008	0,048±0,005	< 0,01 (a)
<b>Junho</b>	4,4 ± 0,1	< 0,01 (a)	0,9 ± 0,7	53,9 ± 0,1	(1,1 ± 0,8) x 10 <sup>-3</sup>	(6,0 ± 0,7) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,015 (d)	0,047±0,005	< 0,01 (a)
<b>Julho</b>	1,1 ± 0,1	< 0,01 (a)	1,9 ± 0,8	53,9 ± 0,1	(2,1 ± 0,9) x 10 <sup>-3</sup>	(4,2 ± 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,015 (d)	0,038±0,004	< 0,01 (a)
<b>Agosto</b>	2,3 ± 0,1	< 0,01 (a)	< 0,8 (b)	54,7 ± 0,1	< 1,1 x 10 <sup>-3</sup> (c)	(2,9 ± 0,3) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,015 (d)	0,042±0,002	< 0,01 (a)
<b>Setembro</b>	3,9 ± 0,1	< 0,01 (a)	< 0,8 (b)	57,5 ± 0,1	< 1,7 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 0,8 x 10 <sup>-3</sup> (c)	0,035±0,005	0,061±0,004	< 0,01 (a)
<b>Outubro</b>	1,5 ± 0,1	< 0,01 (a)	< 0,8 (b)	56,9 ± 0,1	< 1,0 x 10 <sup>-3</sup> (c)	(9,5 ± 0,5) x 10 <sup>-3</sup>	0,022±0,004	0,048±0,003	< 0,01 (a)
<b>Novembro</b>	3,4 ± 0,1	< 0,01 (a)	< 0,8 (b)	58,9 ± 0,1	< 1,1 x 10 <sup>-3</sup> (c)	(2,9 ± 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	0,021±0,004	0,039±0,003	< 0,01 (a)
<b>Dezembro</b>	2,6 ± 0,1	< 0,01 (a)	1,7 ± 0,8	65,6 ± 0,1	< 0,5 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 1,3 x 10 <sup>-3</sup> (c)	< 0,015 (d)	0,046±0,003	< 0,01 (a)
<b>Média ± σ (n=12)</b>	<b>3,0 ± 1,8</b>	<b>&lt; 0,01</b>	<b>&lt; 1,0</b>	<b>60,6 ± 10,1</b>	<b>&lt; 1,0 x 10<sup>-3</sup></b>	<b>&lt; 3,2 x 10<sup>-3</sup></b>	<b>&lt; 0,021</b>	<b>0,048±0,013</b>	<b>&lt; 0,01</b>

Actividade mínima detectável em beta total e residual (a), <sup>3</sup>H (b), <sup>137</sup>Cs e <sup>90</sup>Sr (c) e em alfa total (d)

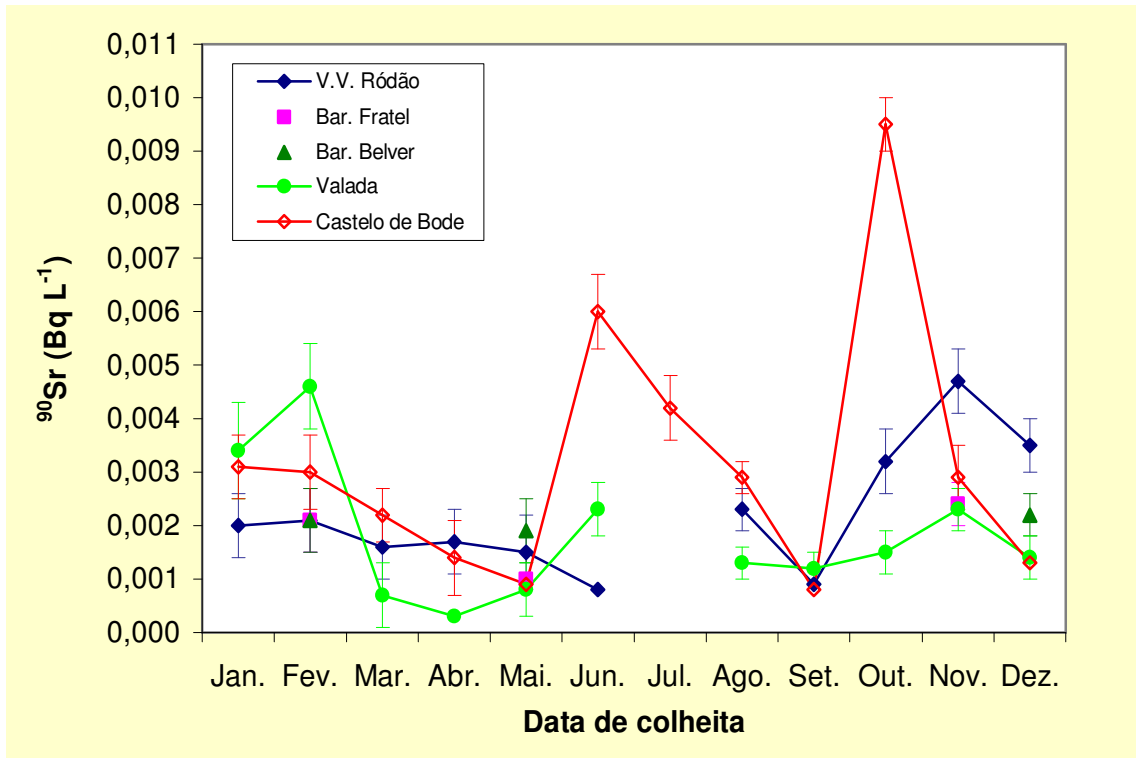


Figura 8 - Variação da concentração de actividade em  $^{90}\text{Sr}$  (Bq L $^{-1}$ ) nos rios Tejo e Zêzere

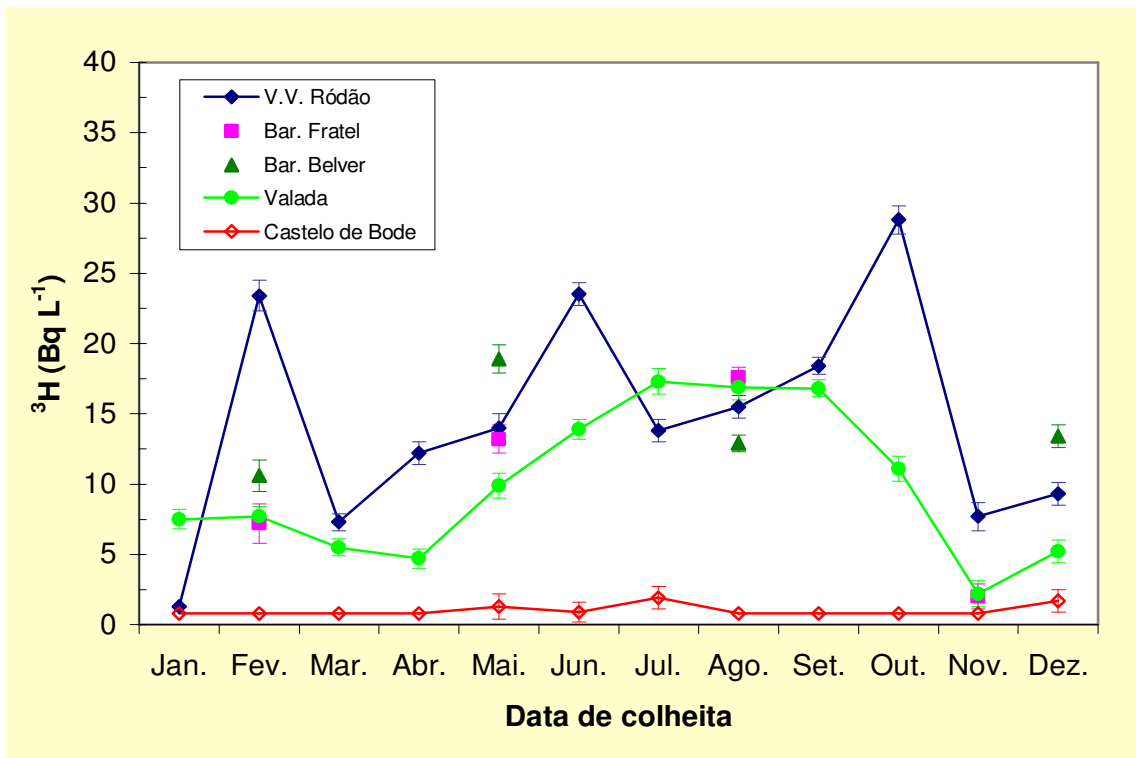


Figura 9 - Variação da concentração de actividade em  $^3\text{H}$  (Bq L $^{-1}$ ) nos rios Tejo e Zêzere



**Tabela 11 - Valores de actividade específica,  $A \pm \sigma$  (Bq L<sup>-1</sup>), em <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>3</sup>H, 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	Partículas em suspensão $\varnothing > 0,45\mu\text{m}$		<sup>3</sup> H	Água filtrada $\varnothing \leq 0,45\mu\text{m}$				
	Concentração mg L <sup>-1</sup>	Beta total		Sais dissolvidos Concentração mg L <sup>-1</sup>	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	Beta total	Beta residual
<b>Rio Guadiana</b> (Barragem de Alqueva)	4,5 ± 0,1	< 0,01 (a)	1,5 ± 0,6	326,6 ± 0,1	< 0,9 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(3,9 ± 0,7) x 10 <sup>-3</sup>	0,19 ± 0,01	< 0,01 (a)
<b>Rio Mondego</b> (Barragem da Aguieira)	4,7 ± 0,1	< 0,01 (a)	3,7 ± 0,5	244,9 ± 0,1	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (b)	(3,7 ± 0,5) x 10 <sup>-3</sup>	0,10 ± 0,01	0,07 ± 0,01
<b>Rio Douro</b> (Barragem do Pocinho)	2,3 ± 0,1	< 0,01 (a)	2,8 ± 0,7	43,9 ± 0,1	< 0,5 x 10 <sup>-3</sup> (b)	< 1,6 x 10 <sup>-3</sup> (b)	0,043 ± 0,003	< 0,01 (a)

Actividade mínima detectável em beta total e residual (a) e em <sup>137</sup>Cs e <sup>90</sup>Sr (b)

### Sedimentos

Nas Tabelas 12 a 23 estão expressos os valores de actividade específica,  $A$ , ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ), 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  $^{232}\text{Th}$  (medida através do  $^{228}\text{Ra}$  e descendentes) e do  $^{238}\text{U}$  (medida através do  $^{226}\text{Ra}$  e descendentes) apresenta valores com um grande desvio padrão (da ordem dos 50%), principalmente para a fracção areia e silte/argila, devido às grandes variações mensais. Em V. Velha de Ródão os valores médios anuais para o  $^{228}\text{Ra}$  foram de:  $48 \pm 24 \text{ Bq kg}^{-1}$  para o sedimento total,  $104 \pm 62 \text{ Bq kg}^{-1}$  para a fracção areia e  $201 \pm 90 \text{ Bq kg}^{-1}$  para a fracção silte/argila. Para o  $^{226}\text{Ra}$  os valores médios obtidos foram de:  $34 \pm 12 \text{ Bq kg}^{-1}$  para o sedimento total,  $60 \pm 28 \text{ Bq kg}^{-1}$  para a fracção areia e  $132 \pm 44 \text{ Bq kg}^{-1}$  para a fracção silte/argila. Relativamente a Valada os valores das concentrações de actividade em  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  são 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  $^{235}\text{U}$  apresenta valores, na grande maioria dos casos, inferiores à actividade mínima detectável para ambas as estações de amostragem. Relativamente ao  $^{137}\text{Cs}$ , 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  $1,7 \text{ Bq kg}^{-1}$  em V. Velha de Ródão e inferior a  $0,9 \text{ Bq kg}^{-1}$  em Valada. Para o  $^7\text{Be}$ , os valores situam-se abaixo dos valores de actividade mínima detectável. Os valores das concentrações de actividade em  $^{235}\text{U}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  e  $^7\text{Be}$  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, com excepção dos observados no mês de Dezembro, na barragem de Belver, os quais são cerca de uma ordem de grandeza inferiores principalmente para o  $^{228}\text{Ra}$  na fracção silte/argila. Isto pode ser devido ao facto de a amostra ter sido recolhida numa situação anormal de caudal do rio após um período de fortes chuvadas e inundações.

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  $^{228}\text{Ra}$  e o  $^{226}\text{Ra}$  descendentes das séries radioactivas do  $^{232}\text{Th}$  e  $^{238}\text{U}$ , respectivamente, os valores mais elevados obtidos para o  $^{228}\text{Ra}$ , podem estar relacionados com o menor grau de solubilidade e

consequentemente menor mobilidade geoquímica do  $^{232}\text{Th}$  em relação ao  $^{238}\text{U}$ . Além disso, poder-se-á considerar a hipótese de um teor mais elevado em Tório do que em Urânio nas rochas de onde os sedimentos são originários.

Nas Figuras 10 a 13 e 14 a 17 estão representadas as variações das concentrações de actividade em  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{40}\text{K}$  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 radionuclidos naturais  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{226}\text{Ra}$  e do radionuclido artificial  $^{137}\text{Cs}$  para a fracção silte/argila com excepção do  $^{40}\text{K}$ , 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,  $A$ , ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ), dos radionuclidos (naturais e artificiais) detectados em sedimento totais, areia ( $250\mu\text{m} \geq \emptyset > 63\mu\text{m}$ ) e silte/argila ( $\emptyset \leq 63\mu\text{m}$ ) colhidos nos rios Douro, Mondego e Guadiana. Pode observar-se uma tendência para o aumento da concentração de actividade em  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  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 radionuclidos analisados em sedimentos dos rios Tejo, Douro, Mondego e Guadiana são da mesma ordem de grandeza dos obtidos em anos anteriores (Madruga et al., 2003, 2004, 2005 & 2006).

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

Data de colheita	<sup>235</sup> U	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
<b>Janeiro</b>	< 4 (a)	25 ± 1	21 ± 1	1,9 ± 0,3	849 ± 38	< 5
<b>Fevereiro</b>	< 2 (a)	26 ± 1	23 ± 1	1,6 ± 0,2	873 ± 39	< 10
<b>Março</b>	< 4 (a)	24 ± 1	20 ± 1	1,4 ± 0,2	925 ± 41	< 8
<b>Abril</b>	< 4 (a)	35 ± 1	27 ± 1	1,5 ± 0,2	933 ± 42	< 9
<b>Maiο</b>	< 4 (a)	62 ± 1	37 ± 1	1,8 ± 0,1	909 ± 20	< 10
<b>Junho</b>	< 4 (a)	74 ± 2	45 ± 1	1,4 ± 0,2	801 ± 36	< 12
<b>Julho</b>	< 3 (a)	32 ± 1	27 ± 1	2,1 ± 0,3	953 ± 44	< 9
<b>Agosto</b>	< 4 (a)	73 ± 2	46 ± 1	2,9 ± 0,5	856 ± 39	< 8
<b>Setembro</b>	4 ± 2	97 ± 3	56 ± 2	1,3 ± 0,4	869 ± 46	< 8
<b>Outubro</b>	5 ± 3	40 ± 1	37 ± 1	< 0,7 (a)	817 ± 38	< 7
<b>Novembro</b>	< 3 (a)	44 ± 1	35 ± 1	2,2 ± 0,4	858 ± 39	< 8
<b>Dezembro *</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Média ± σ (n=11)</b>	< 4	48 ± 24	34 ± 12	< 1,7	877 ± 48	< 9

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

Data de colheita	<sup>235</sup> U	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
<b>Janeiro</b>	< 6 (a)	54 ± 2	36 ± 1	2,6 ± 0,4	723 ± 35	< 14 (a)
<b>Fevereiro</b>	< 4 (a)	57 ± 2	37 ± 1	1,5 ± 0,3	743 ± 36	< 15 (a)
<b>Março</b>	< 4 (a)	52 ± 2	35 ± 1	2,7 ± 0,4	816 ± 39	< 14 (a)
<b>Abril</b>	< 7 (a)	208 ± 4	106 ± 2	3,1 ± 0,6	762 ± 31	< 24 (a)
<b>Maiο</b>	< 8 (a)	204 ± 3	103 ± 2	2,5 ± 0,2	764 ± 31	< 19 (a)
<b>Junho</b>	< 5 (a)	131 ± 3	71 ± 2	< 1,5 (a)	766 ± 30	< 14 (a)
<b>Julho</b>	< 4 (a)	53 ± 2	34 ± 1	2,1 ± 0,4	786 ± 31	< 15 (a)
<b>Agosto</b>	4 ± 2	152 ± 5	81 ± 3	3,5 ± 0,6	760 ± 67	< 11 (a)
<b>Setembro</b>	4 ± 2	121 ± 4	70 ± 3	1,5 ± 0,4	776 ± 40	< 8 (a)
<b>Outubro</b>	< 6 (a)	59 ± 2	43 ± 1	< 0,9 (a)	788 ± 31	< 10 (a)
<b>Novembro</b>	< 5 (a)	58 ± 2	44 ± 1	2,6 ± 0,7	733 ± 30	< 14 (a)
<b>Dezembro*</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Média ± σ (n=11)</b>	< 5	104 ± 62	60 ± 28	< 2,2	765 ± 26	< 14

(a) Actividade mínima detectável; \* Não foi possível a colheita de sedimento devido às condições do rio;

**Tabela 14 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>), 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	<sup>235</sup> U	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
Janeiro	< 34 (a)	92 ± 6	89 ± 6	11,7 ± 2,7	557 ± 94	< 104 (a)
Fevereiro	< 29 (a)	101 ± 6	84 ± 5	5,8 ± 2,0	656 ± 91	< 98 (a)
Março	< 31 (a)	143 ± 8	113 ± 7	10,8 ± 2,4	549 ± 83	< 99 (a)
Abril	< 22 (a)	146 ± 8	96 ± 5	5,8 ± 1,7	740 ± 80	62 ± 21
Maio	< 20 (a)	207 ± 5	133 ± 3	7,9 ± 1,1	611 ± 42	< 61 (a)
Junho	< 11 (a)	312 ± 10	187 ± 6	5,8 ± 0,8	645 ± 54	< 14 (a)
Julho	< 26 (a)	215 ± 9	146 ± 8	< 5,8 (a)	485 ± 85	< 60 (a)
Agosto	< 12 (a)	286 ± 7	189 ± 4	4,4 ± 1,3	590 ± 33	< 30 (a)
Setembro	14 ± 2	346 ± 11	173 ± 6	1,7 ± 0,7	686 ± 61	< 13 (a)
Outubro	12 ± 3	254 ± 9	170 ± 7	4,1 ± 0,8	695 ± 39	< 10 (a)
Novembro	< 7 (a)	109 ± 3	72 ± 2	2,5 ± 0,7	659 ± 28	< 18 (a)
Dezembro*	-	-	-	-	-	-
<b>Média ± <math>\sigma</math> (n=11)</b>	<b>&lt; 20</b>	<b>201 ± 90</b>	<b>132 ± 44</b>	<b>&lt; 6,0</b>	<b>625 ± 75</b>	<b>52 ± 37</b>

**Tabela 15 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em sedimentos totais ( $\varnothing < 1\text{mm}$ ) colhidos no rio Tejo, em Valada do Ribatejo**

Data de colheita	<sup>235</sup> U	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
Janeiro	< 4 (a)	29 ± 1	24 ± 1	0,9 ± 0,2	896 ± 40	< 8 (a)
Fevereiro	< 4 (a)	33 ± 1	23 ± 1	0,6 ± 0,2	873 ± 39	< 9 (a)
Março	< 3 (a)	36 ± 1	24 ± 1	0,8 ± 0,2	889 ± 40	< 9 (a)
Abril	< 2 (a)	26 ± 1	18 ± 1	< 0,5 (a)	821 ± 37	< 8 (a)
Maio	< 3 (a)	23,1 ± 0,4	17,5 ± 0,3	0,8 ± 0,1	894 ± 20	< 6 (a)
Junho	< 3 (a)	25 ± 1	19 ± 1	0,5 ± 0,2	851 ± 38	< 6 (a)
Julho	< 3 (a)	19 ± 1	15 ± 1	0,6 ± 0,2	869 ± 39	< 6 (a)
Agosto	< 3 (a)	31 ± 1	23 ± 1	0,7 ± 0,2	865 ± 39	< 6 (a)
Setembro	< 3 (a)	29 ± 1	21 ± 1	0,8 ± 0,4	884 ± 39	< 6 (a)
Outubro	< 2 (a)	15 ± 1	11 ± 1	< 0,4 (a)	793 ± 36	< 7 (a)
Novembro	< 3 (a)	37 ± 1	27 ± 1	2,9 ± 0,5	787 ± 36	21 ± 6
Dezembro	< 3 (a)	30 ± 1	23 ± 1	1,3 ± 0,4	780 ± 49	< 8 (a)
<b>Média ± <math>\sigma</math> (n=12)</b>	<b>&lt; 3</b>	<b>28 ± 7</b>	<b>20 ± 5</b>	<b>&lt; 0,9</b>	<b>850 ± 44</b>	<b>&lt; 8</b>

Actividade mínima detectável; \* Não foi possível a colheita de sedimento devido às condições do rio;

**Tabela 16 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>), 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	<sup>235</sup> U	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
<b>Janeiro</b>	< 5 (a)	49 ± 2	32 ± 1	1,7 ± 0,3	866 ± 73	< 12 (a)
<b>Fevereiro</b>	< 6 (a)	94 ± 2	51 ± 1	< 0,9 (a)	808 ± 31	< 17 (a)
<b>Março</b>	< 9 (a)	151 ± 3	76 ± 2	< 1,8 (a)	817 ± 32	< 20 (a)
<b>Abril</b>	< 4 (a)	81 ± 3	46 ± 2	0,9 ± 0,3	856 ± 72	< 11 (a)
<b>Mai</b>	< 4 (a)	58 ± 1	37 ± 1	1,2 ± 0,2	820 ± 33	< 15 (a)
<b>Junho</b>	< 6 (a)	74 ± 2	44 ± 1	< 1,1 (a)	802 ± 30	< 13 (a)
<b>Julho</b>	< 5 (a)	53 ± 1	32 ± 1	< 1,2 (a)	866 ± 32	< 12 (a)
<b>Agosto</b>	< 5 (a)	112 ± 3	63 ± 1	< 1,2 (a)	767 ± 29	< 11 (a)
<b>Setembro</b>	< 2 (a)	38 ± 2	26 ± 1	1,1 ± 0,4	872 ± 45	< 7 (a)
<b>Outubro</b>	< 5 (a)	56 ± 2	36 ± 2	< 1,0 (a)	836 ± 36	< 9 (a)
<b>Novembro</b>	< 6 (a)	65 ± 2	52 ± 2	3,7 ± 0,9	778 ± 33	23 ± 9
<b>Dezembro</b>	< 6 (a)	45 ± 2	40 ± 1	2,7 ± 0,9	810 ± 34	< 12 (a)
<b>Média ± σ (n=12)</b>	< 5	73 ± 32	44 ± 14	< 1,5	825 ± 35	< 14

**Tabela 17 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>), 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	<sup>235</sup> U	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
<b>Janeiro</b>	< 10 (a)	112 ± 3	75 ± 2	3,1 ± 0,6	747 ± 32	< 14 (a)
<b>Fevereiro</b>	< 34 (a)	371 ± 17	210 ± 10	< 4,9 (a)	763 ± 92	< 87 (a)
<b>Março</b>	< 27 (a)	141 ± 8	89 ± 5	< 6,4 (a)	467 ± 80	< 79 (a)
<b>Abril</b>	< 15 (a)	148 ± 9	83 ± 5	< 4,2 (a)	694 ± 89	< 100 (a)
<b>Mai</b>	< 15 (a)	155 ± 4	106 ± 3	5,2 ± 0,9	791 ± 46	< 45 (a)
<b>Junho</b>	< 20 (a)	159 ± 6	108 ± 4	< 4,0 (a)	775 ± 71	< 64 (a)
<b>Julho</b>	< 25 (a)	190 ± 9	120 ± 6	< 5,0 (a)	829 ± 99	< 48 (a)
<b>Agosto</b>	< 7 (a)	140 ± 5	85 ± 3	3,1 ± 0,5	840 ± 72	< 14 (a)
<b>Setembro</b>	4 ± 2	99 ± 4	66 ± 3	1,5 ± 0,4	769 ± 68	< 10 (a)
<b>Outubro</b>	< 16 (a)	156 ± 7	91 ± 5	< 3,0 (a)	927 ± 93	< 35 (a)
<b>Novembro</b>	< 6 (a)	74 ± 3	68 ± 3	6,9 ± 0,8	766 ± 66	57 ± 11
<b>Dezembro</b>	< 6 (a)	79 ± 2	60 ± 2	2,4 ± 0,8	712 ± 30	< 17 (a)
<b>Média ± σ (n=12)</b>	< 15	152 ± 77	97 ± 40	< 4,1	757 ± 110	< 48

(a) - Actividade mínima detectável;

**Tabela 18 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em sedimentos totais ( $\varnothing < 1\text{mm}$ ) colhidos no rio Tejo, na Barragem de Fratel**

Data de colheita	<sup>235</sup> U	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
<b>Fevereiro</b>	< 5 (a)	43 ± 1	51 ± 1	6,0 ± 0,5	720 ± 34	< 15 (a)
<b>Maio</b>	< 2 (a)	11,8 ± 0,2	16,7 ± 0,2	< 3,4 (a)	756 ± 17	< 6 (a)
<b>Agosto</b>	< 3 (a)	93 ± 3	54 ± 2	< 0,6 (a)	665 ± 31	< 9 (a)
<b>Novembro</b>	< 4 (a)	98 ± 3	59 ± 2	< 0,7 (a)	636 ± 30	< 6 (a)

**Tabela 19 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em areia ( $250 \mu\text{m} \geq \varnothing > 63 \mu\text{m}$ ) colhida no rio Tejo, na Barragem de Fratel**

Data de colheita	<sup>235</sup> U	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
<b>Fevereiro</b>	< 7 (a)	38 ± 1	40 ± 1	6,2 ± 0,7	655 ± 31	< 14 (a)
<b>Maio</b>	< 3 (a)	29 ± 1	31 ± 1	1,5 ± 0,4	865 ± 79	< 14 (a)
<b>Agosto</b>	< 5 (a)	84 ± 2	48 ± 1	< 1,0 (a)	695 ± 28	< 14 (a)
<b>Novembro</b>	< 6 (a)	126 ± 3	70 ± 2	< 1,1 (a)	693 ± 28	< 15 (a)

**Tabela 20 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em silte/argila ( $\varnothing \leq 63 \mu\text{m}$ ) colhida no rio Tejo, na Barragem de Fratel**

Data de colheita	<sup>235</sup> U	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
<b>Fevereiro</b>	6 ± 1	74 ± 2	65 ± 2	9,0 ± 0,7	655 ± 58	< 16 (a)
<b>Maio</b>	< 20 (a)	86 ± 5	82 ± 5	< 5,5 (a)	703 ± 88	< 6 (a)
<b>Agosto</b>	< 5 (a)	101 ± 2	57 ± 2	< 1,0 (a)	671 ± 26	< 16 (a)
<b>Novembro</b>	< 7 (a)	138 ± 4	85 ± 2	< 1,0 (a)	699 ± 30	< 16 (a)

(a) Actividade mínima detectável;

**Tabela 21 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em sedimentos totais ( $\varnothing < 1\text{mm}$ ) colhidos no rio Tejo, na Barragem de Belver**

Data de colheita	<sup>235</sup> U	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
Fevereiro	< 4 (a)	62 ± 2	35 ± 1	0,8 ± 0,2	908 ± 40	< 8 (a)
Maio	< 3 (a)	33 ± 1	23 ± 1	0,7 ± 0,2	774 ± 35	< 7 (a)
Agosto	< 3 (a)	29 ± 1	19 ± 1	0,9 ± 0,2	776 ± 35	< 9 (a)
Dezembro*	< 4 (a)	28 ± 1	22 ± 1	1,4 ± 0,2	789 ± 35	< 6 (a)

**Tabela 22 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em areia ( $250 \mu\text{m} \geq \varnothing > 63 \mu\text{m}$ ) colhida no rio Tejo, na Barragem de Belver**

Data de colheita	<sup>235</sup> U	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
Fevereiro	< 6 (a)	254 ± 5	123 ± 2	2,5 ± 0,6	812 ± 31	< 19 (a)
Maio	< 8 (a)	190 ± 4	98 ± 2	< 1,5 (a)	795 ± 30	< 19 (a)
Agosto	< 3 (a)	112 ± 4	62 ± 2	2,6 ± 0,6	862 ± 75	< 10 (a)
Dezembro*	< 6 (a)	48 ± 1	34 ± 1	2,9 ± 0,7	803 ± 31	< 12 (a)

**Tabela 23 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em silte/argila ( $\varnothing \leq 63 \mu\text{m}$ ) colhida no rio Tejo, na Barragem de Belver**

Data de colheita	<sup>235</sup> U	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
Fevereiro	< 27 (a)	590 ± 24	316 ± 14	< 4,7 (a)	773 ± 90	< 112 (a)
Maio	< 27 (a)	352 ± 10	205 ± 6	< 6,6 (a)	704 ± 75	< 72 (a)
Agosto	< 24 (a)	434 ± 18	253 ± 13	< 6,0 (a)	708 ± 101	< 83 (a)
Dezembro*	4 ± 1	9 ± 3	57 ± 2	3,0 ± 0,5	708 ± 37	10 ± 5

(a) Actividade mínima detectável;



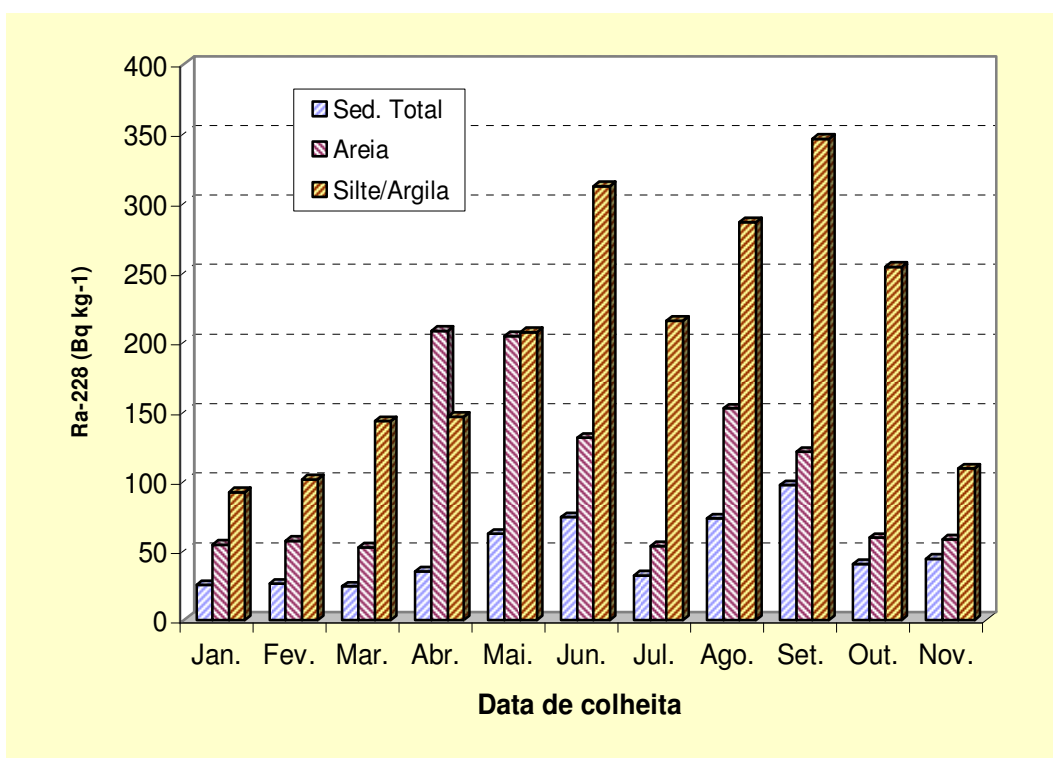


Figura 10 – Variação da actividade específica em  $^{228}\text{Ra}$  ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em V. Velha de Ródão

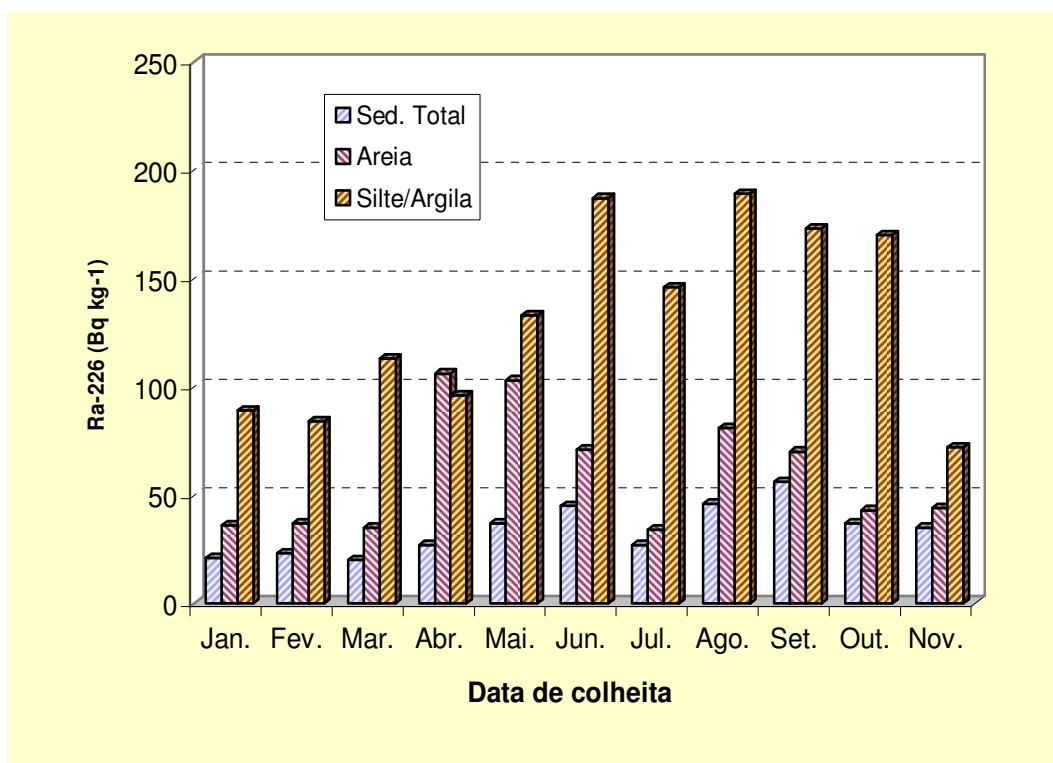


Figura 11 – Variação da actividade específica em  $^{226}\text{Ra}$  ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em V. Velha de Ródão

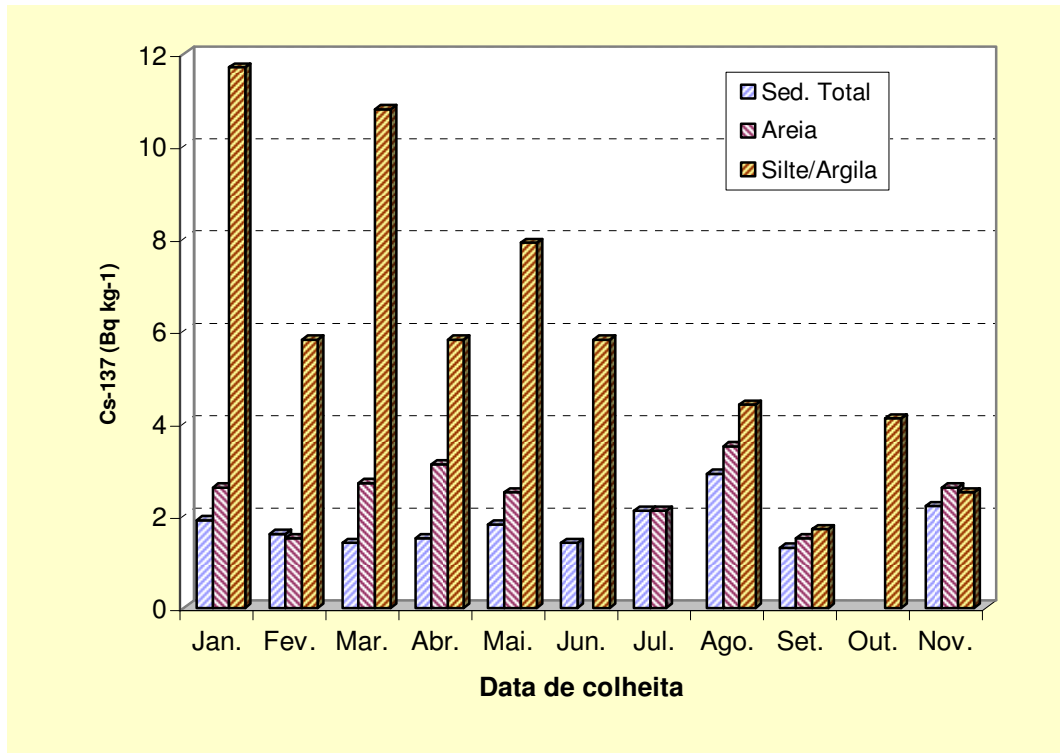


Figura 12 – Variação da actividade específica em <sup>137</sup>Cs (Bq kg<sup>-1</sup>) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em V. Velha de Ródão

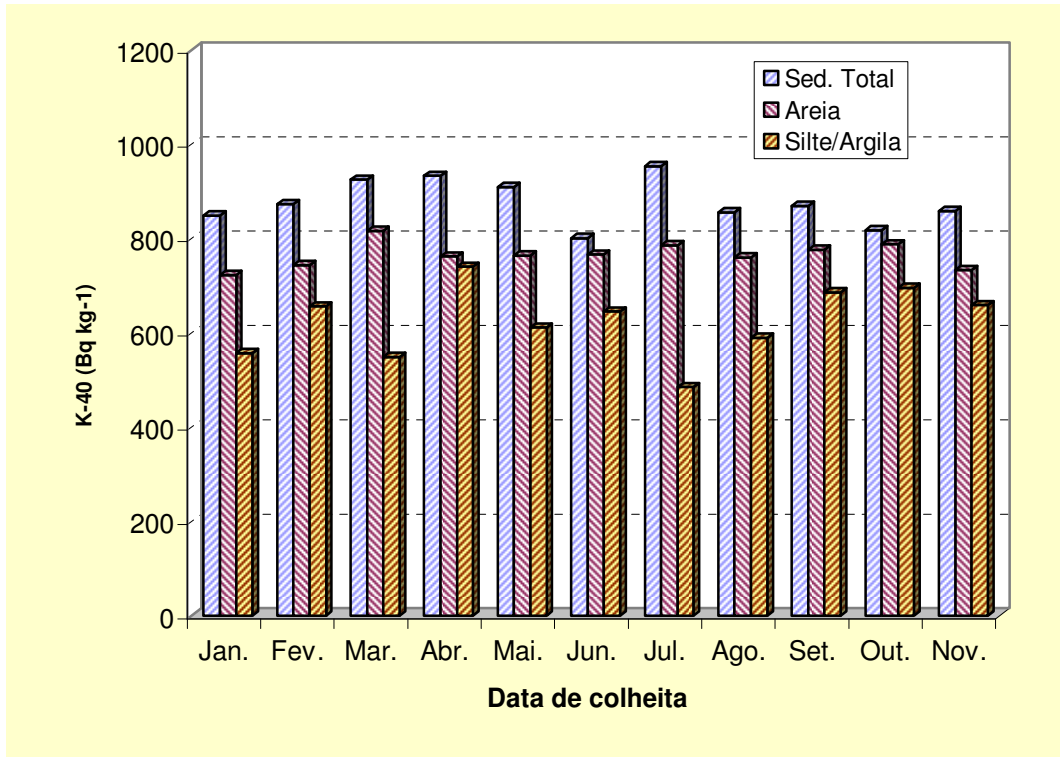


Figura 13 – Variação da actividade específica em <sup>40</sup>K (Bq kg<sup>-1</sup>) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em V. Velha de Ródão

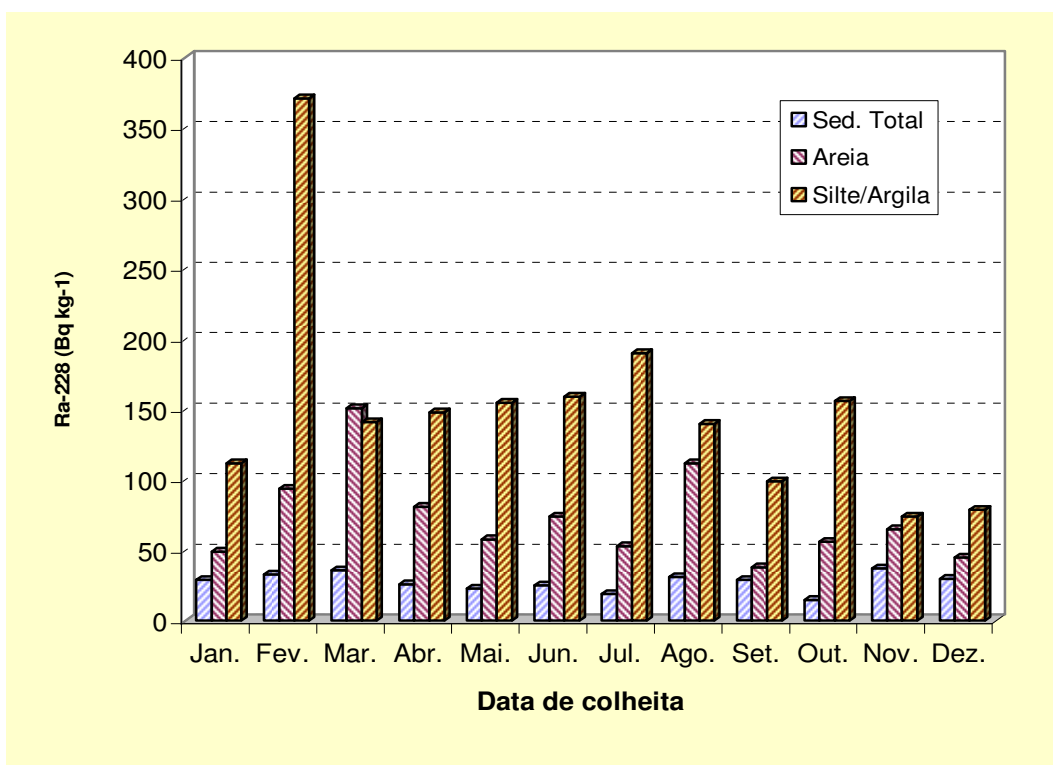


Figura 14 – Variação da actividade específica em <sup>228</sup>Ra (Bq kg<sup>-1</sup>) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em Valada

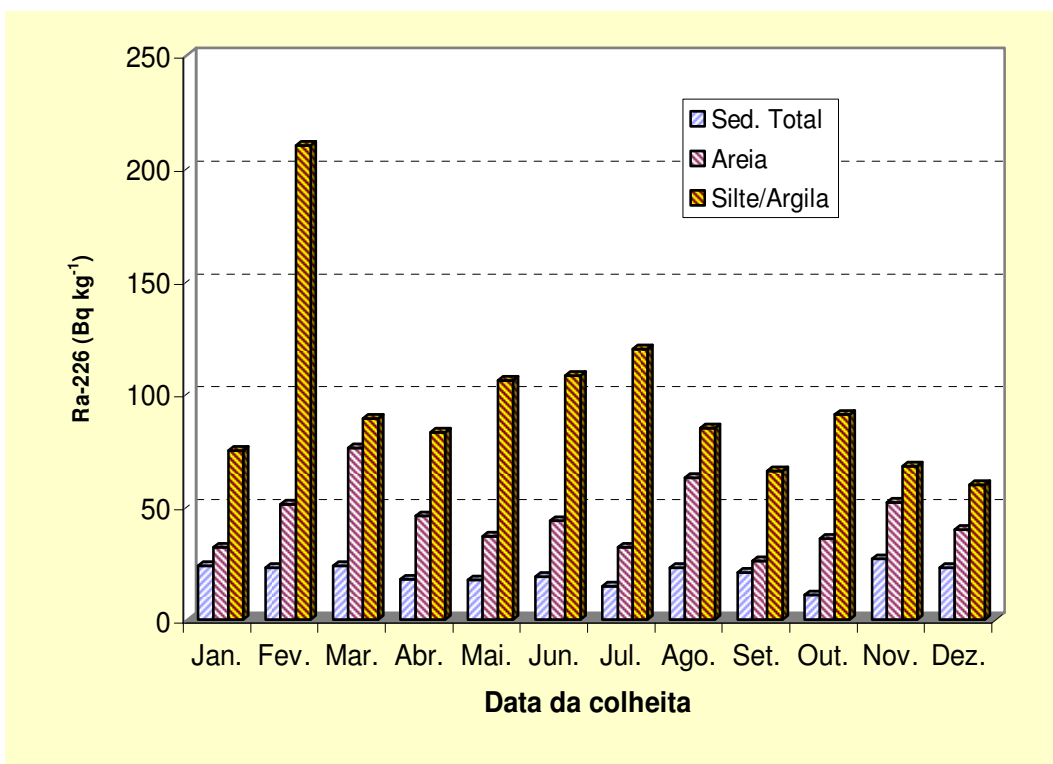


Figura 15 – Variação da actividade específica em <sup>226</sup>Ra (Bq kg<sup>-1</sup>) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em Valada

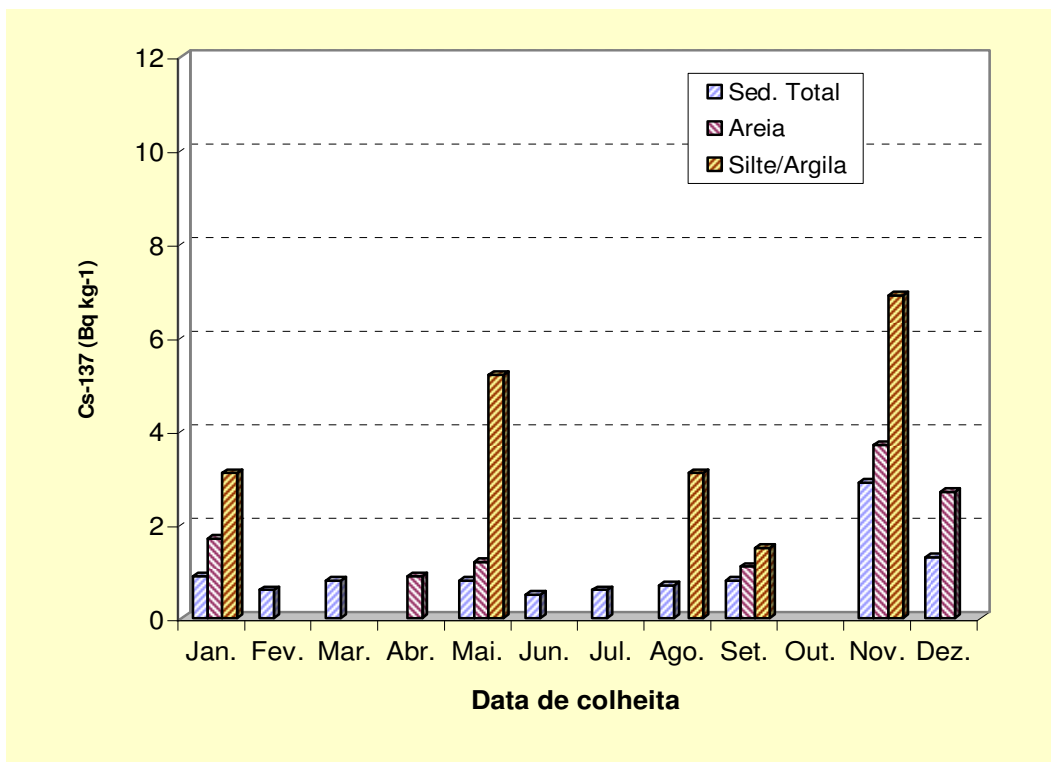


Figura 16 – Variação da actividade específica em <sup>137</sup>Cs (Bq kg<sup>-1</sup>) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em Valada

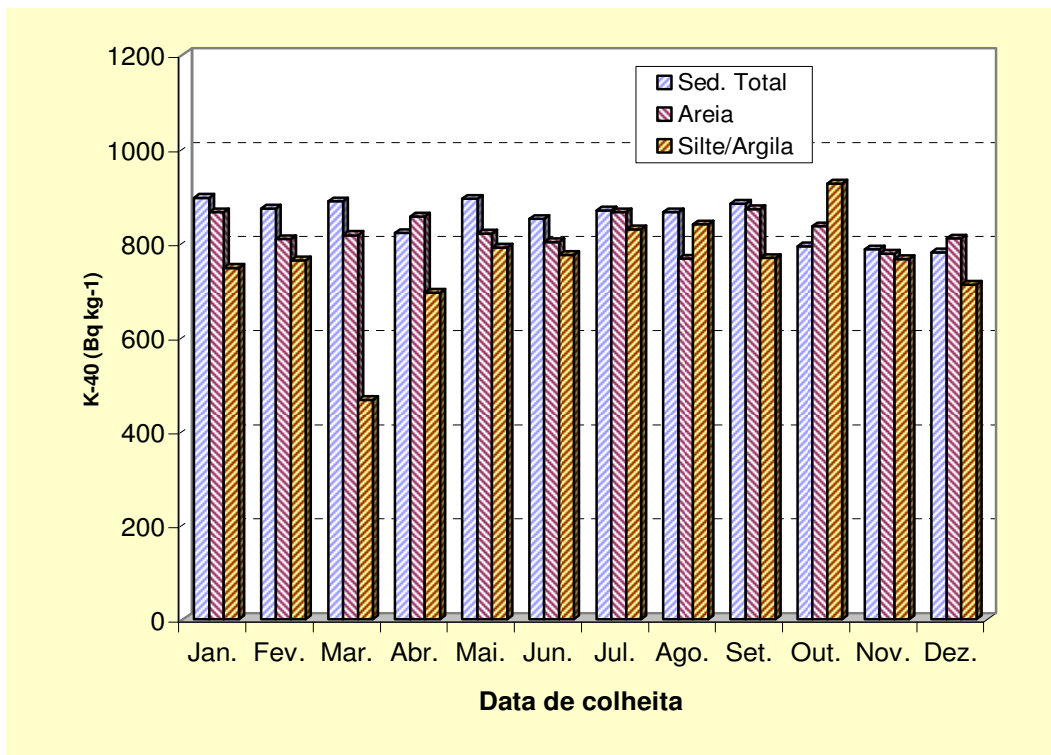


Figura 17 – Variação da actividade específica em <sup>40</sup>K (Bq kg<sup>-1</sup>) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em Valada

**Tabela 24 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em sedimentos totais ( $\varnothing < 1\text{mm}$ ) colhidos nos rios Douro, Mondego e Guadiana**

Data de colheita	Local de amostragem	<sup>235</sup> U	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
Abril	Rio Guadiana (Barragem Alqueva)	< 3 (a)	17 ± 1	8,8 ± 0,4	0,4 ± 0,1	371 ± 18	< 6 (a)
Junho	Rio Douro (Barragem Pocinho)	< 3 (a)	25 ± 1	24 ± 1	< 0,5 (a)	740 ± 34	< 15 (a)
Junho	Rio Mondego (Barragem Aguieira)	< 4 (a)	37 ± 1	34 ± 1	1,7 ± 0,2	819 ± 37	< 10 (a)

**Tabela 25 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em areia ( $250 \mu\text{m} \geq \varnothing > 63 \mu\text{m}$ ) colhida nos rios Douro, Mondego e Guadiana**

Data de colheita	Local de amostragem	<sup>235</sup> U	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
Abril	Rio Guadiana (Barragem Alqueva)	< 5 (a)	38 ± 2	16 ± 1	< 0,5 (a)	367 ± 18	< 8 (a)
Junho	Rio Douro (Barragem Pocinho)	< 4 (a)	34 ± 1	26 ± 1	< 0,8 (a)	548 ± 23	< 13 (a)
Junho	Rio Mondego (Barragem Aguieira)	< 3 (a)	44 ± 2	38 ± 2	2,3 ± 0,4	774 ± 63	< 8 (a)

**Tabela 26 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em silte/argila ( $\varnothing \leq 63 \mu\text{m}$ ) colhida nos rios Douro, Mondego e Guadiana**

Data de colheita	Local de amostragem	<sup>235</sup> U	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
Abril	Rio Guadiana (Barragem Alqueva)	< 28 (a)	116 ± 5	79 ± 4	< 3,4 (a)	463 ± 66	< 75 (a)
Junho	Rio Douro (Barragem Pocinho)	< 7 (a)	150 ± 4	104 ± 2	< 1,2 (a)	563 ± 24	< 27 (a)
Junho	Rio Mondego (Barragem Aguieira)	< 12 (a)	216 ± 5	135 ± 3	6,5 ± 0,8	557 ± 26	< 28 (a)

(a) Actividade mínima detectável;

### Peixes

Nas Tabelas 27 e 28 estão expressos os valores de actividade específica,  $A$ , ( $\text{Bq kg}^{-1}$ , peso de músculo fresco) de radionuclidos 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  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  são todas inferiores à actividade mínima detectável com valores variando entre 0,1 e 0,3  $\text{Bq kg}^{-1}$ . Os valores de actividade específica em  $^{40}\text{K}$  são relativamente constantes variando entre  $102\pm 9 \text{ Bq kg}^{-1}$  e  $130\pm 7 \text{ Bq kg}^{-1}$ . Estes valores são da mesma ordem de grandeza dos observados em anos anteriores em peixes capturados nos rios Tejo e Douro (Madruga *et al.*, 2003, 2004, 2005 & 2006).

### Plantas Aquáticas

Nas Tabelas 29 e 30 estão expressos os valores de actividade específica,  $A$ , ( $\text{Bq kg}^{-1}$ , peso fresco) de radionuclidos naturais e artificiais em hidrófitos (*Potamogetum crispus* L.) colhidos no rio Tejo (Barragem de Belver) e no rio Douro (Barragem do Pocinho). Os valores de actividade em  $^{235}\text{U}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  situam-se abaixo do valor da actividade mínima detectável. Obtiveram-se os valores de  $14\pm 7 \text{ Bq kg}^{-1}$  e  $10,0\pm 0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$  para a actividade em  $^{226}\text{Ra}$  e de  $3,7\pm 0,4 \text{ Bq kg}^{-1}$  e  $0,5\pm 0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$  para a actividade em  $^{228}\text{Ra}$  no rio Tejo e no rio Douro respectivamente. Para o  $^{40}\text{K}$  o valor mais elevado ( $215\pm 22 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) foi observado no rio Tejo. Estes valores são da mesma ordem de grandeza dos observados em 2005 em plantas capturadas no rio Douro (Madruga *et al.*, 2006).

**Tabela 27 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>, músculo fresco), de radionuclídeos naturais e artificiais emissores gama em peixe capturado no rio Tejo, em Vila Velha de Ródão**

Data de colheita	Espécie	<sup>137</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>40</sup> K
<b>Janeiro</b>	(a)	-	-	-	-
<b>Fevereiro</b>	Barbus bocagei L.	< 0,2 (b)	< 0,3 (b)	< 0,2 (b)	128 ± 6
<b>Março</b>	Barbus bocagei L.	< 0,2 (b)	< 0,3 (b)	< 0,2 (b)	130 ± 7
<b>Abril</b>	Barbus bocagei L.	< 0,1 (b)	< 0,2 (b)	< 0,2 (b)	102 ± 9
<b>Mai</b>	Barbus bocagei L.	< 0,1 (b)	< 0,2 (b)	< 0,2 (b)	109 ± 9
<b>Junho</b>	Barbus bocagei L.	< 0,1 (b)	< 0,2 (b)	< 0,2 (b)	126 ± 10
<b>Julho</b>	Barbus bocagei L.	< 0,1 (b)	< 0,2 (b)	< 0,1 (b)	124 ± 10
<b>Agosto</b>	Barbus bocagei L.	< 0,1 (b)	< 0,2 (b)	< 0,1 (b)	109 ± 9
<b>Setembro</b>	Carassius auratus L.	< 0,1 (b)	< 0,1 (b)	< 0,1 (b)	106 ± 8
<b>Outubro</b>	Barbus bocagei L.	< 0,1 (b)	< 0,2 (b)	< 0,1 (b)	119 ± 9
<b>Novembro</b>	Barbus bocagei L.	< 0,1 (b)	< 0,2 (b)	< 0,1 (b)	119 ± 10
<b>Dezembro</b>	Barbus bocagei L.	< 0,1 (b)	< 0,2 (b)	< 0,2 (b)	113 ± 11

(a) - Não houve fornecimento de peixe por parte do pescador; (b) - Actividade mínima detectável;

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

Data de colheita	Espécie	<sup>137</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>40</sup> K
<b>Junho</b>	Barbus bocagei L.	< 0,1 (a)	< 0,3 (a)	< 0,2 (a)	123 ± 10

(a) - Actividade mínima detectável;

**Tabela 29 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>, peso fresco), de radionuclídeos naturais e artificiais emissores gama em hidrófitos colhidos no rio Tejo, na Barragem de Belver**

Data de colheita	Espécie	<sup>235</sup> U	<sup>137</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
<b>Mai</b>	<i>Potamogetum crispus</i> L.	< 2,9 (a)	< 0,6 (a)	14 ± 7	3,7 ± 0,4	215 ± 22	< 27 (a)

(a) - Actividade mínima detectável;

**Tabela 30 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>, peso fresco), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em hidrófitos colhidos no rio Douro, na Barragem do Pocinho**

Data de colheita	Espécie	<sup>235</sup> U	<sup>137</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
<b>Junho</b>	<i>Potamogetum crispus L.</i>	< 3,0 (a)	< 0,1 (a)	10,0 ± 0,1	0,5 ± 0,1	43 ± 4	4 ± 2

(a) - Actividade mínima detectável;



## 3.2. Mar

### 3.2.1. Material e Métodos

Procedeu-se a uma colheita anual de amostras de algas e mexilhões em 3 locais de amostragem na Costa Atlântica e num local de amostragem nos Estuários do Tejo e do Sado (Figura 2).

As amostras foram secas em estufa a 80 °C 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  $\alpha$  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,  $A$ , ( $\text{Bq kg}^{-1}$ , peso fresco), em mexilhões colhidos na Costa Atlântica e nos estuários do Tejo e Sado estão expressos na Tabela 31.

Verifica-se que os valores da actividade específica em  $^{239+240}\text{Pu}$  variam entre  $3,2 \pm 0,4$   $\text{mBq kg}^{-1}$  e  $9,6 \pm 0,9$   $\text{mBq kg}^{-1}$  em mexilhões colhidos no Estuário do Sado e no Cabo de S. Vicente, respectivamente. Para o  $^{238}\text{Pu}$  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,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  e  $^{234}\text{U}$  verifica-se que as actividades são, em geral, relativamente constantes, com excepção dos valores mais elevados obtidos no Cabo de S. Vicente, com valores variando, por exemplo, entre  $0,41 \pm 0,02$   $\text{Bq kg}^{-1}$  e  $0,74 \pm 0,02$   $\text{Bq kg}^{-1}$  e entre  $0,021 \pm 0,003$   $\text{Bq kg}^{-1}$  e  $0,062 \pm 0,007$   $\text{Bq kg}^{-1}$  para o  $^{238}\text{U}$  e  $^{235}\text{U}$ , respectivamente. O valor da razão entre as concentrações dos isótopos  $^{234}\text{U}$  e  $^{238}\text{U}$  é aproximadamente 1, o que indica a existência de equilíbrio radioactivo secular. Pode observar-se, para os vários locais de amostragem que as concentrações em  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{40}\text{K}$  são relativamente constantes. Por exemplo, os valores de actividade em  $^{210}\text{Pb}$  variam entre  $1,7 \pm 0,1$   $\text{Bq kg}^{-1}$  e  $7,2 \pm 0,2$   $\text{Bq kg}^{-1}$  e os de  $^{40}\text{K}$  entre  $27 \pm 5$   $\text{Bq kg}^{-1}$  e  $46 \pm 6$   $\text{Bq kg}^{-1}$ . Pode constatar-se, pelos valores de concentração em  $^{210}\text{Po}$  (variando entre  $70 \pm 3$   $\text{Bq kg}^{-1}$  e  $157 \pm 6$   $\text{Bq kg}^{-1}$ ) que os mexilhões acumulam este radionuclido em quantidades mais elevadas sendo portanto bons indicadores biológicos.

Estes resultados, quer para os radionuclídeos 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 31 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>, peso fresco), de radionuclidos naturais e artificiais em mexilhões colhidos na Costa Atlântica e nos estuários do Tejo e Sado**

Local de amostragem	Tipo de amostra	<sup>239+240</sup> Pu	<sup>238</sup> Pu	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K
<b>Matosinhos</b>	Mexilhões	$(3,5 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$<0,2 \times 10^{-3}$ (a)	$0,74 \pm 0,02$	$0,035 \pm 0,004$	$0,89 \pm 0,03$	$0,32 \pm 0,03$	$0,17 \pm 0,05$	$3,3 \pm 0,1$	$157 \pm 6$	$<0,2$ (a)	$32 \pm 5$
<b>Figueira da Foz</b>	Mexilhões	$(6,8 \pm 1,2) \times 10^{-3}$	$(0,7 \pm 0,3) \times 10^{-3}$	$0,41 \pm 0,02$	$0,021 \pm 0,003$	$0,48 \pm 0,02$	$0,11 \pm 0,02$	$0,09 \pm 0,02$	$1,7 \pm 0,1$	$154 \pm 6$	$<0,2$ (a)	$46 \pm 6$
<b>Estuário do Tejo (Cascais)</b>	Mexilhões	$(4,4 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$(0,5 \pm 0,2) \times 10^{-3}$	$0,67 \pm 0,02$	$0,030 \pm 0,004$	$0,76 \pm 0,02$	$0,08 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0,01$	$3,1 \pm 0,1$	$134 \pm 5$	$<0,2$ (a)	$39 \pm 5$
<b>Cabo de S. Vicente</b>	Mexilhões	$(9,6 \pm 0,9) \times 10^{-3}$	$(0,4 \pm 0,2) \times 10^{-3}$	$1,26 \pm 0,04$	$0,062 \pm 0,007$	$1,44 \pm 0,05$	$0,05 \pm 0,01$	$0,31 \pm 0,04$	$7,2 \pm 0,2$	$155 \pm 6$	$<0,2$ (a)	$27 \pm 5$
<b>Estuário do Sado</b>	Mexilhões	$(3,2 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$(0,3 \pm 0,2) \times 10^{-3}$	$0,60 \pm 0,02$	$0,026 \pm 0,003$	$0,69 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,01$	$0,13 \pm 0,06$	$2,6 \pm 0,1$	$70 \pm 3$	$<0,1$ (a)	$29 \pm 4$

(a)– Actividade mínima detectável;

## 4. RADIOACTIVIDADE EM ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO

### 4.1. Material e Métodos

Recolheram-se amostras de água para consumo humano em Lisboa (Figura 1) com uma periodicidade mensal. Recolheram-se também amostras de água em localidades seleccionadas aleatoriamente de modo a abranger todas as regiões do país (Figura 2). As amostras de água foram recolhidas em torneiras de distribuição ao público e acidificadas na altura da colheita tendo-se determinado posteriormente as actividades alfa e beta totais e a concentração em  $^3\text{H}$ .

A metodologia utilizada para a determinação da radioactividade alfa e beta totais segue as Normas Portuguesas para águas não salinas NP 4332 (1996) e NP 4330 (1996) respectivamente. A medição de radioactividade alfa e beta totais é feita em simultâneo num sistema de contagem  $\alpha/\beta$  munido de detectores proporcionais de fluxo gasoso (TENNELEC, Canberra), previamente calibrado com padrões alfa ( $^{241}\text{Am}$ ) e beta ( $^{40}\text{K}$ ). Para a determinação da radioactividade devida ao  $^3\text{H}$  seguiu-se 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 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 ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ), Tório ( $^{232}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ) e Actínio ( $^{235}\text{U}$ ). 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 ( $^{232}\text{U}$ ,  $^{229}\text{Th}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{209}\text{Po}$ ). 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  $\alpha$  em sistema de medição OCTETE PLUS (ORTEC), previamente calibrados com fontes certificadas (QCRB 4021 Amersham).

Nas amostras de água colhidas em Lisboa determinou-se também a actividade em  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  por medição beta conforme procedimento descrito em 2.2.1.

### 4.2. Resultados e Discussão

Na Tabela 32 estão expressos os valores da actividade específica,  $A$ , ( $\text{Bq L}^{-1}$ ) em  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^3\text{H}$  e da actividade alfa total e beta total em águas para consumo humano colhidas

mensalmente em Lisboa. Como se pode observar os valores de actividade específica em  $^{137}\text{Cs}$ , situam-se na generalidade abaixo do valor de actividade mínima detectável, com excepção dos valores de  $1,2 \pm 1,0 \text{ mBq L}^{-1}$  e  $1,3 \pm 0,9 \text{ mBq L}^{-1}$  obtidos nos meses de Janeiro e Fevereiro respectivamente. Relativamente ao  $^{90}\text{Sr}$  os valores observados são relativamente constantes, variando entre  $1,8 \pm 0,4 \text{ mBq L}^{-1}$  (Setembro) e  $4,5 \pm 0,5 \text{ mBq L}^{-1}$  (Outubro) e são superiores aos obtidos para o  $^{137}\text{Cs}$ . Os valores de actividade específica em  $^3\text{H}$  apresentam uma variação de cerca de uma ordem de grandeza, desde valores inferiores à actividade mínima detectável ( $0,8 \text{ Bq L}^{-1}$ ) até ao valor máximo de  $6,2 \pm 0,6 \text{ Bq L}^{-1}$  obtido no mês de Setembro (Figura 18).

Os valores da concentração em  $^3\text{H}$  e das actividades alfa e beta totais,  $A$  ( $\text{Bq L}^{-1}$ ), em águas recolhidas aleatoriamente em vários locais do país estão presentes na Tabela 33 e na Figura 19. Como se pode observar, os valores das actividades alfa e beta totais são relativamente constantes e inferiores aos valores recomendados no Decreto-Lei 243/2001 de 5 de Setembro (alfa total:  $0,1 \text{ Bq L}^{-1}$ ; beta total:  $1 \text{ Bq L}^{-1}$ ) para estes parâmetros radioactivos, excepto, para a medida alfa total, para as águas recolhidas em Nisa ( $0,116 \pm 0,012 \text{ Bq L}^{-1}$ ), Mira ( $5,176 \pm 0,020 \text{ Bq L}^{-1}$ ), Ourique ( $0,397 \pm 0,075 \text{ Bq L}^{-1}$ ), V. Verde de Ficalho ( $0,112 \pm 0,053 \text{ Bq L}^{-1}$ ), Leixões ( $0,221 \pm 0,030 \text{ Bq L}^{-1}$ ), Barca d'Alva ( $0,280 \pm 0,015 \text{ Bq L}^{-1}$ ), Santarém ( $0,136 \pm 0,021 \text{ Bq L}^{-1}$ ), Porto ( $0,199 \pm 0,023 \text{ Bq L}^{-1}$ ) e Braga ( $0,111 \pm 0,018 \text{ Bq L}^{-1}$ ). Valores médios anuais variando entre  $0,028$  e  $0,522 \text{ Bq L}^{-1}$  para a actividade alfa total e entre  $0,035$  e  $0,431 \text{ Bq L}^{-1}$  para a actividade beta total foram observados na Irlanda (O'Keefe *et al.*, 2006) entre 1997 e 2002.

O Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), 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  $1 \text{ Bq L}^{-1}$  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 ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ), Tório ( $^{232}\text{Th}$ ) e Actínio ( $^{235}\text{U}$ ) e da Dose Indicativa Total para as águas referidas anteriormente estão expressos na Tabela 34.

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  $^{238}\text{U}$  ( $101\pm 2$ )  $\text{mBq L}^{-1}$  e  $^{234}\text{U}$  ( $136\pm 3$ )  $\text{mBq L}^{-1}$  na água de Barca d'Alva, e de  $^{226}\text{Ra}$  ( $1,62\pm 0,07$ )  $\times 10^3$   $\text{mBq L}^{-1}$  na água da Mira. O valor elevado em  $^{226}\text{Ra}$  na água de Mira sugere que esta água deve ser originária de um aquífero profundo de origem calcária onde os teores em rádio são geralmente mais elevados devido à dissolução da calcite. A razão das actividades em  $^{234}\text{U}$  e  $^{238}\text{U}$  apresenta valores que variam entre 1 (Braga) e 8 (Ourique). Os valores mais elevados em  $^{234}\text{U}$  na água resultam do deslocamento do átomo de  $^{234}\text{U}$  da rede cristalina dos minerais ficando mais vulnerável a ser oxidado ao estado hexavalente podendo ser lixiviado na água mais facilmente que o progenitor  $^{238}\text{U}$  (Pietrzak *et al.* 2005). 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  $^{238}\text{U}$  e os seus descendentes,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Po}$ , o que é explicado pelos 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 das actividades nos radionuclidos específicos (Tabela 34) é inferior ao valor da actividade alfa total (Tabela 33). Tal facto é devido a não terem sido determinadas as concentrações de todos os radionuclidos emissores alfa que contribuem para a actividade alfa total, e também porque a técnica de medição alfa total é menos rigorosa uma vez que não permite individualizar os vários radionuclidos que contribuem para essa actividade.

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 34. Os valores variam entre 0,005 e 0,341  $\text{mSv a}^{-1}$ , sendo o valor mais elevado cerca de três vezes superior ao valor paramétrico, 0,1  $\text{mSv a}^{-1}$ , estipulado no Decreto-Lei 243/2001 de 5 de Setembro.

Dada a não conformidade legislativa verificada na água de Mira para os parâmetros alfa total, beta total e DIT procedeu-se a uma nova amostragem e posterior análise da água. Uma vez que a não conformidade subsistiu informou-se o IRAR para tomar as medidas necessárias á não utilização dessa água.

Os valores de actividade em  $^3\text{H}$  nas amostras de água recolhidas ao longo do país (Tabela 33, Figura 19) apresentam uma grande variação, cerca de uma ordem de grandeza, situando-se entre 0,8 (actividade mínima detectável) e  $8,7\pm 0,7$   $\text{Bq L}^{-1}$ . Estes valores, assim

como os obtidos para a água proveniente de Lisboa (Tabela 32) são, na generalidade, muito inferiores a  $50 \text{ Bq L}^{-1}$ , valor paramétrico estipulado na Lei da Água (Decreto-Lei 243/2001 de 5 de Setembro).

Com base nas médias anuais das actividades em  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^3\text{H}$  determinadas na água de consumo colhida em Lisboa (Tabela 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) obteve-se o valor de  $0,093 \mu\text{Sv a}^{-1}$  para a dose efectiva de radiação devida à ingestão desta água. Estes valores são idênticos aos obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2003, 2004, 2005 & 2006).

Na Finlândia, a dose de radiação devida à ingestão dos radionuclídeos  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^3\text{H}$  através da água de consumo variaram entre 0,7 e  $5 \mu\text{Sv a}^{-1}$  e entre 0,03 e  $0,5 \mu\text{Sv a}^{-1}$  em 2003 (STUK-B-TKO5, 2004) e 2004 (STUK-B-TKO6, 2005) respectivamente.

**Tabela 32 – Valores de actividade específica,  $A \pm \sigma$  (Bq L<sup>-1</sup>), em <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>3</sup>H, alfa total e beta total, em água para consumo humano colhida em Lisboa**

Data de colheita	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>3</sup> H	Alfa Total	Beta Total
<b>Janeiro</b>	$(1,2 \pm 1,0) \times 10^{-3}$	$(3,7 \pm 0,7) \times 10^{-3}$	< 0,8 (b)	$0,029 \pm 0,008$	$0,071 \pm 0,007$
<b>Fevereiro</b>	$(1,3 \pm 0,9) \times 10^{-3}$	$(2,1 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	< 0,8 (b)	$0,095 \pm 0,019$	$0,078 \pm 0,008$
<b>Março</b>	< $0,6 \times 10^{-3}$ (a)	$(3,5 \pm 0,9) \times 10^{-3}$	$1,0 \pm 0,6$	$0,033 \pm 0,010$	$0,043 \pm 0,004$
<b>Abril</b>	< $1,1 \times 10^{-3}$ (a)	$(3,1 \pm 0,9) \times 10^{-3}$	< 0,8 (b)	$0,047 \pm 0,015$	$0,062 \pm 0,007$
<b>Maió</b>	< $0,8 \times 10^{-3}$ (a)	$(2,5 \pm 0,7) \times 10^{-3}$	< 0,8 (b)	$0,033 \pm 0,010$	$0,048 \pm 0,004$
<b>Junho</b>	< $0,5 \times 10^{-3}$ (a)	< $2,3 \times 10^{-3}$ (a)	< 0,8 (b)	$0,028 \pm 0,008$	$0,047 \pm 0,005$
<b>Julho</b>	< $0,7 \times 10^{-3}$ (a)	$(2,1 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$1,6 \pm 0,8$	$0,030 \pm 0,008$	$0,046 \pm 0,004$
<b>Agosto</b>	< $0,7 \times 10^{-3}$ (a)	(c)	$3,6 \pm 0,8$	$0,035 \pm 0,007$	$0,064 \pm 0,005$
<b>Setembro</b>	< $1,1 \times 10^{-3}$ (a)	$(1,8 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$6,2 \pm 0,6$	$0,052 \pm 0,010$	$0,081 \pm 0,005$
<b>Outubro</b>	< $1,1 \times 10^{-3}$ (a)	$(4,5 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	$1,7 \pm 0,8$	$0,057 \pm 0,010$	$0,087 \pm 0,006$
<b>Novembro</b>	< $1,1 \times 10^{-3}$ (a)	$(2,9 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$1,2 \pm 0,9$	$0,031 \pm 0,007$	$0,068 \pm 0,004$
<b>Dezembro</b>	< $0,7 \times 10^{-3}$ (a)	$(3,2 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$3,2 \pm 0,8$	$0,059 \pm 0,010$	$0,099 \pm 0,005$
<b>Média <math>\pm \sigma</math></b>	< $0,9 \times 10^{-3}$ (n=12)	< $2,9 \times 10^{-3}$ (n=11)	< 1,9 (n=12)	$0,044 \pm 0,020$ (n=12)	$0,066 \pm 0,018$ (n=12)

- (a) Actividade mínima detectável;  
 (b) Actividade mínima detectável em <sup>3</sup>H;  
 (c) Resultado da medição não fiável.



Tabela 33 - Valores de actividade específica,  $A \pm \sigma$  (Bq L<sup>-1</sup>), em <sup>3</sup>H, alfa total e beta total em água para consumo humano colhida em vários locais do país

Data de colheita	Local de amostragem	<sup>3</sup> H	Alfa Total	Beta Total
<b>Janeiro</b>	Portalegre	< 0,8 (a)	0,012±0,007	0,027±0,006
	Nisa	< 0,8 (a)	0,116±0,012	0,142±0,007
	Vila do Conde	3,1 ± 0,7	0,013±0,006	0,040±0,005
	Espinho	< 0,8 (a)	0,016±0,009	0,129±0,009
	Mira	< 0,8 (a)	5,176±0,200	1,470±0,042
	Aveiro	< 0,8 (a)	0,074±0,008	0,112±0,005
	Cantanhede	< 0,8 (a)	0,078±0,032	0,088±0,013
<b>Fevereiro</b>	Serpa	< 0,8 (a)	0,051±0,048	0,200±0,028
	Santana da Serra	5,3 ± 0,3	0,024±0,012	0,057±0,006
	Ourique	< 0,8 (a)	0,397±0,075	0,129±0,022
	V. Nova de S. Bento	< 0,8 (a)	0,079±0,033	0,260±0,020
	V. Verde de Ficalho	< 0,8 (a)	0,112±0,053	0,079±0,020
<b>Março</b>	Águas de Moura	5,4 ± 0,6	0,084±0,017	0,126±0,008
	V. Velha de Ródão	< 0,8 (a)	0,110±0,012	0,058±0,004
<b>Abril</b>	Vila Viçosa	1,3 ± 0,6	< 0,015 (b)	0,023±0,012
	R. de Monsaraz	1,4 ± 0,6	0,043±0,018	0,167±0,012
	Fundão	3,1 ± 0,6	< 0,015 (b)	0,028±0,003
	Silvares	2,4 ± 0,6	0,035±0,008	0,073±0,004
<b>Mai</b>	Silves	3,4 ± 0,6	0,082±0,046	0,050±0,018
	Sines	2,1 ± 0,6	0,066±0,060	0,172±0,030
	Vila do Bispo	2,8 ± 0,7	< 0,015 (b)	0,150±0,029
	Leixões	< 0,8 (a)	0,221±0,030	0,204±0,011
	Figueira da Foz	3,1 ± 0,7	< 0,015 (b)	0,129±0,013
	Gavião	< 0,8 (a)	0,039±0,021	0,056±0,006
	Fratel	5,5 ± 0,7	0,027±0,007	0,057±0,004

(a) Actividade mínima detectável em <sup>3</sup>H;

(b) Actividade mínima detectável em alfa total.

**Tabela 33: continuação**

Data de colheita	Local de amostragem	$^3\text{H}$	Alfa Total	Beta Total
<b>Junho</b>	Aguieira	$8,7 \pm 0,7$	< 0,015 (b)	$0,092 \pm 0,005$
	Barca d'Alva	< 0,8 (a)	$0,280 \pm 0,035$	$0,173 \pm 0,012$
	Figueira C. Rodrigo	< 0,8 (a)	$0,015 \pm 0,005$	$0,026 \pm 0,003$
<b>Agosto</b>	Santarém	$2,9 \pm 0,6$	$0,136 \pm 0,021$	$0,193 \pm 0,011$
	Martinchel	$1,0 \pm 0,6$	$0,034 \pm 0,006$	$0,049 \pm 0,003$
<b>Outubro</b>	Porto	< 0,8 (a)	$0,199 \pm 0,023$	$0,272 \pm 0,014$
<b>Dezembro</b>	Braga	< 0,8 (a)	$0,111 \pm 0,018$	$0,288 \pm 0,014$

(a) Actividade mínima detectável em  $^3\text{H}$ ;

(b) Actividade mínima detectável em alfa total.

**Tabela 34 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (mBq L<sup>-1</sup>), dos radionuclidos das famílias naturais do Urânio, Actínio e Tório e valores da Dose Indicativa Total (DIT) expressos em mSv a<sup>-1</sup> em águas para consumo humano recolhidas em vários locais do país**

Local de amostragem	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>230</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Po	<sup>232</sup> Th	DIT
Barca d' Alva	101 ± 2	4,9 ± 0,2	136 ± 3	0,14 ± 0,05	3,9 ± 0,5	3,4 ± 0,2	0,05 ± 0,03	0,012
Braga	1,49 ± 0,09	0,10 ± 0,02	1,5 ± 0,1	0,6 ± 0,1	15,9 ± 1,3	18,4 ± 0,5	0,06 ± 0,02	0,020
Leixões	12,7 ± 0,7	1,4 ± 0,2	35,3 ± 1,6	-	38,4 ± 5,3	15,8 ± 0,7	-	0,024
Porto	9,2 ± 0,3	0,46 ± 0,05	11,6 ± 0,3	0,93 ± 0,08	52,1 ± 3,2	28,4 ± 0,9	0,02 ± 0,01	0,036
Ourique	12,4 ± 0,5	0,68 ± 0,08	106 ± 3	0,13 ± 0,02	65,5 ± 6,0	23,6 ± 8,2	0,08 ± 0,02	0,038
V. Verde de Ficalho	8,8 ± 0,4	0,31 ± 0,06	43,2 ± 1,4	0,006 ± 0,002	35,6 ± 1,5	8,9 ± 0,4	<0,02 (a)	0,017
Mira	7,1 ± 0,4	0,7 ± 0,1	23,5 ± 0,9	0,12 ± 0,03	(1,62±0,07) x 10 <sup>3</sup>	10,0 ± 0,5	<0,2 (a)	0,341
Nisa	1,5 ± 0,1	0,11 ± 0,02	3,3 ± 0,1	0,17 ± 0,08	59,0 ± 2,6	2,6 ± 0,1	<0,2 (a)	0,015
Santarém	11,4 ± 1,4	0,55 ± 0,43	35,7 ± 2,8	-	14,2 ± 2,4	0,50 ± 0,05	-	0,005

(a) Actividade mínima detectável

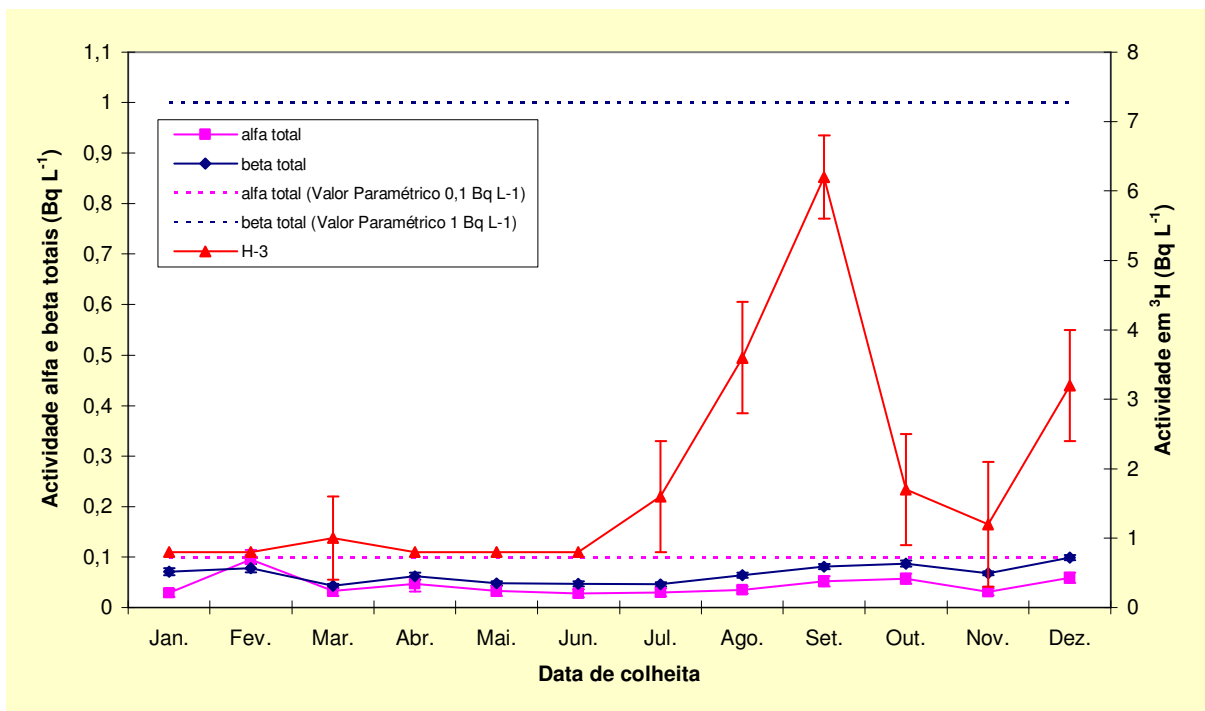


Figura 18 - Variação das actividades alfa e beta totais e <sup>3</sup>H (Bq L<sup>-1</sup>) em águas para consumo humano proveniente de Lisboa

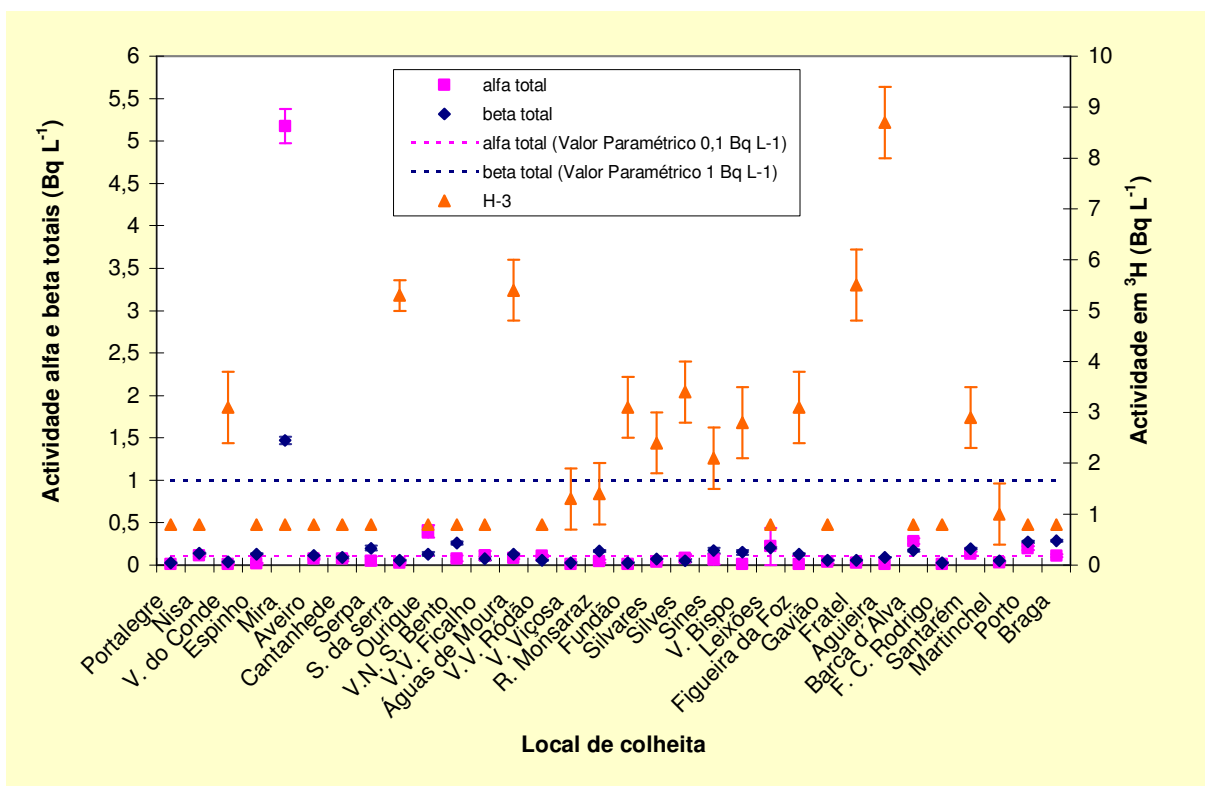


Figura 19 - Actividades alfa e beta totais e <sup>3</sup>H (Bq L<sup>-1</sup>) em águas para consumo humano colhidas em várias regiões do país

## 5. RADIOACTIVIDADE EM COMPONENTES DA CADEIA ALIMENTAR

### 5.1. Material e Métodos

#### Componentes Individuais e Refeição Completa

A recolha de amostras dos diferentes componentes da cadeia alimentar consistiu na obtenção de: *i*) amostras semestrais de carne, fruta, vegetal e tubérculo recolhidas no produtor, provenientes das sete Direcções Regionais de Agricultura do Continente, da Inspecção Regional das Actividades Económicas dos Açores e da Secretaria Regional do Ambiente e Recursos Naturais da Madeira (Figura 2); *ii*) 2 amostras anuais de carne, fruta, vegetal e tubérculo adquiridos na região de V. Velha de Ródão (Figura 2); e, *iii*) amostras semestrais (carne, fruta, vegetal, farinha, peixe, marisco) adquiridas em supermercados da área de Lisboa (Figura 2). Com este plano, procurou-se que as amostragens dos diferentes componentes fossem as mais representativas possíveis da situação nacional.

As amostras (correspondentes ao almoço e jantar) de refeição completa foram recolhidas, mensalmente, na cantina da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (Figura 1). A composição de cada amostra está descrita na Tabela 36.

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

#### Leite

Foram analisadas amostras de leite em natureza (sem qualquer tratamento) provenientes do produtor, através das cooperativas leiteiras, e recolhidas nos tanques à entrada das fábricas de transformação e distribuição de leite e produtos lácteos. Foram analisadas amostras mensais recolhidas na Lactogal (Vila do Conde) e Serraleite (Parmalat) (Figura 1) e amostras trimestrais na Lactogal (Tocha-Contanhede) e Parmalat (Águas de Moura) (Figura 2). Procedeu-se também à análise de amostras semestrais de leite adquiridas directamente ao produtor, provenientes dos Açores e da Madeira (Figura 2).

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

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

## 5.2. Resultados e Discussão

### Componentes Individuais e Refeição Completa

Na Tabela 35 estão expressos os valores das actividades específicas,  $A$  ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ), dos radionuclídeos artificiais ( $^{137}\text{Cs}$ ) e naturais ( $^{40}\text{K}$  e  $^7\text{Be}$ ) 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  $^{137}\text{Cs}$  se situa abaixo dos valores da actividade mínima detectável ( $0,1\text{-}0,4 \text{ Bq kg}^{-1}$ , dependendo das condições de medição), com excepção de algumas amostras onde a actividade em  $^{137}\text{Cs}$  é mensurável, mas em que os valores são da ordem de grandeza da actividade mínima detectável. O  $^{40}\text{K}$  apresenta valores mais elevados, que variam entre  $24\pm 2 \text{ Bq kg}^{-1}$  (maçã proveniente da Direcção Regional de Agricultura do Região Autónoma da Madeira) e  $160\pm 4 \text{ Bq kg}^{-1}$  (batata proveniente da Região de Vila Velha de Ródão). Relativamente ao  $^7\text{Be}$ , os valores são na grande maioria inferiores ao valor da actividade mínima detectável, que varia entre  $0,6$  e  $2,2 \text{ Bq kg}^{-1}$ . Foram detectados vestígios de  $^7\text{Be}$  nalgumas amostras de couve. Os valores mensuráveis variam entre  $2,9\pm 1,3$  (Direcção Regional de Agricultura do Algarve) e  $8,7\pm 1,1 \text{ Bq kg}^{-1}$  (Direcção Regional de Agricultura da Beira Litoral). Sendo o  $^7\text{Be}$  um radionuclídeo de origem cósmica ao ser transportado pela água da chuva poderá depositar-se na biosfera e principalmente nos vegetais, produtos da cadeia alimentar mais sujeitos a essa deposição.

Os resultados em  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  e  $^7\text{Be}$  são consistentes com medidas efectuadas em anos anteriores em produtos da cadeia alimentar (Madruga *et al.*, 2003, 2004, 2005 & 2006).

No Reino Unido, foram observados valores médios para a actividade em  $^{40}\text{K}$  variando entre  $71$  e  $93 \text{ Bq kg}^{-1}$  e entre  $78$  e  $96 \text{ Bq kg}^{-1}$  em 2003 e 2005 (RIFE-9, 2004; RIFE-11, 2006) respectivamente. Para o  $^{137}\text{Cs}$  são referidos valores inferiores a  $0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ . Valores médios anuais em  $^{137}\text{Cs}$  de  $2,3$ ,  $0,6$ ,  $0,4$  e  $0,5 \text{ Bq kg}^{-1}$  foram reportados para carne, batatas, cebolas e fruta, respectivamente (Grabowski, 2000).

Os valores da actividade específica,  $A$  ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ), em refeições completas estão expressos na Tabela 36.

Da análise dos resultados pode constatar-se que os valores de actividade específica em  $^{137}\text{Cs}$  e  $^7\text{Be}$  são inferiores aos valores da actividade mínima detectável e idênticos aos obtidos para os componentes da cadeia alimentar individualizados. No que se refere ao  $^{40}\text{K}$  os valores são relativamente constantes, variando entre  $26\pm 2$  e  $69\pm 4 \text{ Bq kg}^{-1}$  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 & 2006).

No Reino Unido (RIFE-9, 2004; RIFE-10, 2005; RIFE-11, 2006) foram observados valores inferiores a 0,06 e 0,05 Bq kg<sup>-1</sup> para o <sup>137</sup>Cs em amostras de refeições completas adquiridas em cantinas, durante os anos de 2003, 2004 e 2005. Os mesmos autores reportam para o <sup>40</sup>K valores que variam entre 90 e 95 Bq kg<sup>-1</sup> em 2003, entre 81 e 120 Bq kg<sup>-1</sup> em 2004, e entre 70 e 110 Bq kg<sup>-1</sup> em 2005.

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 35 e 36) a dose devida à ingestão de <sup>137</sup>Cs deverá ser inferior a 2 µSv a<sup>-1</sup>.

Na Finlândia foram observados valores inferiores a 20 e 10 µSv para a dose de radiação em <sup>137</sup>Cs devida à ingestão de produtos da cadeia alimentar durante os anos de 2003 (STUK-B-TKO5, 2004) e 2004 (STUK-B-TKO6, 2005) respectivamente.

**Tabela 35 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>, peso fresco), dos radionuclídeos <sup>137</sup>Cs, <sup>40</sup>K e <sup>7</sup>Be em produtos da cadeia alimentar**

Data de colheita	Proveniência	Produto	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
<b>Janeiro</b>	Supermercado (Lisboa)	Alface	< 0,2 (a)	133 ± 7	< 1,5 (a)
		Laranja	< 0,1 (a)	47 ± 3	< 1,1 (a)
		Farinha de trigo	< 0,2 (a)	47 ± 7	< 1,9 (a)
		Berbigão	< 0,2 (a)	49 ± 3	< 1,5 (a)
		Carapau	0,2 ± 0,1	108 ± 6	< 1,4 (a)
	Direcção Regional de Agricultura do Alentejo	Carne (Frango)	< 0,2 (a)	117 ± 5	< 1,9 (a)
		Couve	< 0,2 (a)	98 ± 4	< 1,0 (a)
		Cebola	< 0,2 (a)	75 ± 4	< 1,4 (a)
		Laranja	< 0,1 (a)	48 ± 2	< 1,1 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,3 (a)	96 ± 4	< 1,9 (a)
<b>Fevereiro</b>	Direcção Regional de Agricultura da Região Autónoma da Madeira	Couve	< 0,3 (a)	66 ± 4	< 2,1 (a)
		Batata	< 0,3 (a)	117 ± 5	< 2,2 (a)
		Maçã	< 0,2 (a)	24 ± 2	< 1,3 (a)
		Carne (Suíno)	< 0,3 (a)	103 ± 4	< 2,2 (a)
<b>Março</b>	Direcção Regional de Agricultura do Algarve	Couve	< 0,2 (a)	93 ± 4	6,2 ± 0,7
		Laranja	< 0,2 (a)	46 ± 3	< 1,3 (a)
		Batata	< 0,1 (a)	130 ± 4	< 1,1 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,1 (a)	98 ± 3	< 1,2 (a)
	Direcção Regional de Agricultura Entre Douro e Minho	Laranja	< 0,2 (a)	59 ± 4	< 1,3 (a)
<b>Abril</b>	Direcção Regional de Agricultura da Beira Litoral	Couve	< 0,4 (a)	103 ± 6	8,7 ± 1,1
		Batata	< 0,2 (a)	158 ± 8	< 1,4 (a)
		Laranja	< 0,2 (a)	56 ± 7	< 1,5 (a)
		Carne (Suíno)	< 0,1 (a)	99 ± 3	< 1,3 (a)
	Inspeção Regional das Actividades Económicas dos Açores (São Miguel)	Couve	< 0,3 (a)	121 ± 5	4,0 ± 0,7
		Batata	< 0,2 (a)	115 ± 6	< 1,5 (a)
		Banana	< 0,2 (a)	113 ± 14	< 1,7 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,3 (a)	93 ± 4	< 2,2 (a)
<b>Maió</b>	Direcção Regional de Agricultura da Beira Interior	Alface	< 0,3 (a)	72 ± 4	< 1,9 (a)
		Batata	< 0,2 (a)	126 ± 7	< 1,4 (a)
		Laranja	< 0,2 (a)	70 ± 3	< 1,2 (a)
		Carne (Suíno)	0,2 ± 0,1	97 ± 12	< 1,4 (a)
<b>Junho</b>	Direcção Regional de Agricultura do Ribatejo e Oeste	Couve	< 0,2 (a)	87 ± 11	< 1,8 (a)
		Laranja	< 0,3 (a)	57 ± 4	< 2,0 (a)
		Carne (Suíno)	0,2 ± 0,1	113 ± 5	< 2,0 (a)

(a) Actividade mínima detectável;



Tabela 35: continuação

Data de colheita	Proveniência	Produto	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
<b>Julho</b>	Supermercado (Lisboa)	Tomate	< 0,1 (a)	79 ± 4	< 1,7 (a)
		Melão	< 0,2 (a)	87 ± 5	< 0,7 (a)
		Farinha de trigo	< 0,1 (a)	47 ± 3	< 1,5 (a)
		Berbigão	< 0,2 (a)	51 ± 3	< 1,3 (a)
		Sardinha	< 0,1 (a)	104 ± 2	< 1,0 (a)
	Região de V. Velha de Ródão	Carne (Peru)	< 0,1 (a)	105 ± 35	< 0,8 (a)
		Couve	< 0,2 (a)	81 ± 2	< 1,4 (a)
		Batata	< 0,1 (a)	160 ± 4	< 0,9 (a)
		Figos	< 0,1 (a)	52 ± 2	< 0,9 (a)
		Carne (Suíno)	< 0,2 (a)	118 ± 3	< 1,2 (a)
<b>Agosto</b>	Direcção Regional de Agricultura da Região Autónoma da Madeira	Couve	0,3 ± 0,1	57 ± 4	< 0,9 (a)
		Batata	< 0,2 (a)	124 ± 6	< 1,7 (a)
		Pêra	< 0,2 (a)	27 ± 3	< 1,3 (a)
		Carne (Suíno)	0,2 ± 0,1	97 ± 57	< 1,6 (a)
<b>Setembro</b>	Direcção Regional de Agricultura do Algarve	Couve	< 0,2 (a)	80 ± 5	2,9 ± 1,3
		Batata	< 0,2 (a)	52 ± 2	< 1,7 (a)
		Laranja	< 0,1 (a)	42 ± 3	< 0,8 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,1 (a)	92 ± 12	< 1,0 (a)
<b>Outubro</b>	Região de V. Velha de Ródão	Couve	< 0,2 (a)	76 ± 5	< 1,3 (a)
		Batata	< 0,1 (a)	158 ± 7	< 1,1 (a)
		Pêra	< 0,1 (a)	51 ± 3	< 0,6 (a)
		Carne (Suíno)	0,2 ± 0,1	112 ± 15	< 0,8 (a)
<b>Novembro</b>	Direcção Regional de Agricultura de Trás-os-Montes	Couve	< 0,2 (a)	90 ± 12	5,8 ± 1,3
		Batata	0,2 ± 0,1	113 ± 67	< 0,7 (a)
		Maçã	< 0,1 (a)	46 ± 7	< 0,9 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,2 (a)	97 ± 13	< 1,1 (a)
	Direcção Regional de Agricultura da Beira Interior	Couve	< 0,1 (a)	82 ± 11	10 ± 1
		Batata	< 0,1 (a)	147 ± 19	< 0,8 (a)
		Laranja	< 0,1 (a)	53 ± 7	< 0,8 (a)
		Carne (Suíno)	0,2 ± 0,1	107 ± 14	< 0,9 (a)
	Inspeção Regional das Actividades Económicas dos Açores (São Miguel)	Couve	0,5 ± 0,1	111 ± 15	5,1 ± 1,3
		Batata	< 0,1 (a)	137 ± 7	< 0,7 (a)
		Banana	< 0,1 (a)	102 ± 5	< 1,3 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,2 (a)	110 ± 14	< 1,2 (a)
<b>Dezembro</b>	Direcção Regional de Agricultura do Ribatejo e Oeste	Couve	< 0,2 (a)	114 ± 6	5,2 ± 1,6
		Maçã	< 0,1 (a)	38 ± 3	< 1,1 (a)
		Carne (Suíno)	0,3 ± 0,1	110 ± 5	< 1,3 (a)
	Direcção Regional de Agricultura da Beira Litoral	Couve	< 0,2 (a)	103 ± 14	5,0 ± 1,7
		Nabos	< 0,2 (a)	105 ± 5	< 1,1 (a)
		Pêra	< 0,1 (a)	49 ± 4	< 1,2 (a)
		Carne (Suíno)	0,2 ± 0,1	124 ± 63	< 1,2 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,2 (a)	105 ± 13	< 1,3 (a)
		Carne (Ovino)	< 0,1 (a)	109 ± 14	< 1,1 (a)

(a) Actividade mínima detectável;

Tabela 36 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>, peso fresco), dos radionuclídeos <sup>137</sup>Cs, <sup>40</sup>K e <sup>7</sup>Be em refeições completas adquiridas na cantina da Faculdade de Ciências de Lisboa

Data de Colheita	Composição da refeição	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be
<b>Janeiro</b>	Sopa de espinafres, carne de porco á portuguesa, filetes dourados, pão, maçã	< 0,2 (a)	63 ± 4	< 1,8 (a)
<b>Fevereiro</b>	Sopa de grão com massa, arroz á salsicheiro, massada de peixe, pão, maçã, molotof	< 0,1 (a)	26 ± 2	< 1,0 (a)
<b>Março</b>	Sopa de espinafres, sopa da horta, massa com vaca estufada, solha grelhada com batatas, pão, maçã, arroz doce	< 0,1 (a)	53 ± 2	< 1,0 (a)
<b>Abril</b>	Caldo verde, sopa Juliana, bacalhau á Gomes Sá, Goulash á Hungara com arroz branco, pão, maçã, gelatina	< 0,1 (a)	52 ± 2	< 0,8 (a)
<b>Maiο</b>	Sopa de legumes, esparguete á Bolonhesa, pá de porco assado, pão, laranja, mousse de ananás	< 0,2 (a)	45 ± 3	< 1,2 (a)
<b>Junho</b>	Sopa de alho francês, creme de legumes, filetes panados com arroz de legumes, bife de frango com arroz branco e salada, pão, maçã, gelatina	< 0,2 (a)	31 ± 3	< 1,5 (a)
<b>Julho</b>	Creme de alface, espetada de porco com batata frita, salmão grelhado com batata cozida e legumes, pão, maçã, arroz doce	< 0,1 (a)	56 ± 3	< 0,6 (a)
<b>Agosto</b>	Sopa de legumes, sopa juliana, espetada de carne com arroz, peixe assado com batatas, pão, maçã	< 0,1 (a)	45 ± 3	< 1,0 (a)
<b>Setembro</b>	Sopa, carne e filetes com arroz, pão	< 0,1 (a)	44 ± 6	< 0,8 (a)
<b>Outubro</b>	Creme de nabiças, sopa de alface, carne com arroz, garoupa com batatas, pão, laranja, aletria	< 0,1 (a)	53 ± 3	< 0,6 (a)
<b>Novembro</b>	Sopa de cenoura, sopa de legumes, carne com arroz, peixe-espada com batatas, pão, maçã, mousse de chocolate	< 0,1 (a)	69 ± 4	< 0,9 (a)
<b>Dezembro</b>	Sopa de batata com lombardo, sopa camponesa, carne de vaca assada com arroz branco, solha no forno com batatas, pão, pudim de caramelo	< 0,1 (a)	44 ± 3	< 0,6 (a)

(a) Actividade mínima detectável;

## **Leite**

Nas Tabelas 37 a 41 estão presentes os valores de actividade específica,  $A$  ( $\text{Bq L}^{-1}$ ) em  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{40}\text{K}$  em leite proveniente de várias regiões de Portugal Continental e das Ilhas.

Verifica-se que os valores de actividade específica em  $^{137}\text{Cs}$  são, em geral, inferiores ao valor da actividade mínima detectável, 0,1-0,3  $\text{Bq L}^{-1}$  dependendo das condições de medição. Determinou-se um valor mensurável,  $0,3 \pm 0,05 \text{ Bq L}^{-1}$ , numa amostra de leite colhida no mês de Abril no Açores. Relativamente ao  $^{90}\text{Sr}$  os valores da actividade mínima detectável, que dependem do fundo radioactivo e do rendimento químico da análise, variam entre 0,010 e 0,079  $\text{Bq L}^{-1}$ . Os valores mensuráveis são da mesma ordem de grandeza da actividade mínima detectável situando-se entre  $0,009 \pm 0,003$  (Serraleite, mês de Agosto) e  $0,077 \pm 0,009 \text{ Bq L}^{-1}$  (Açores, mês de Abril). Os valores de actividade específica em  $^{40}\text{K}$ , radionuclido de origem natural, são mais elevados do que os obtidos para o  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  e relativamente constantes variando entre  $30 \pm 3 \text{ Bq L}^{-1}$  e  $57 \pm 3 \text{ Bq L}^{-1}$ . Resultados semelhantes foram obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2003, 2004, 2005 & 2006).

Alguns autores (RPII-02/2, 2002) reportam o valor médio de 0,04  $\text{Bq L}^{-1}$  para a actividade em  $^{90}\text{Sr}$  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  $^{137}\text{Cs}$  e valores entre 0,011 e 0,037  $\text{Bq L}^{-1}$  para o  $^{90}\text{Sr}$  em amostras de leite referentes ao ano de 2003. Para os anos de 2004 e 2005, os mesmos autores (RIFE-10, 2005; RIFE-11, 2006) reportam valores da mesma ordem de grandeza. Na Polónia, em 1999, a actividade média anual em  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  e entre 0,006 e 0,060  $\text{Bq L}^{-1}$  para o  $^{90}\text{Sr}$ , dependendo dos locais de amostragem, foram observados em Espanha (Calvo *et al.*, 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), nos valores de actividade mínima e máxima em  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{137}\text{Cs}$  e nos factores de dose para o  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{137}\text{Cs}$  (Basic Safety Standards, 1996; ICRP, 1996) aplicáveis a um adulto médio para a categoria de membro do público. Obtiveram-se valores de dose de radiação que variam entre 0,3 e 1,2  $\mu\text{Sv a}^{-1}$ . Estudos realizados na Finlândia (STUK-B-TKO5, 2004; STUK-B-TKO6, 2005) referem valores de dose de radiação devida à ingestão de leite entre 0,7 e 2,6  $\mu\text{Sv}$  e entre 0,7 e 2,4  $\mu\text{Sv}$  para os anos de 2003 e 2004 respectivamente, considerando um consumo *per capita* de 140 litros.

**Tabela 37 – Valores de actividade específica, A (Bq L<sup>-1</sup>), dos radionuclídeos <sup>137</sup>Cs, <sup>40</sup>K e <sup>90</sup>Sr em leite proveniente da Lactogal (Vila do Conde). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para o <sup>137</sup>Cs e <sup>40</sup>K e de 68% (1σ) para o <sup>90</sup>Sr**

Data de colheita	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>40</sup> K
<b>Janeiro</b>	< 0,2 (a)	0,019 ± 0,008	48 ± 3
<b>Fevereiro</b>	< 0,2 (a)	0,034 ± 0,009	30 ± 3
<b>Março</b>	< 0,2 (a)	0,059 ± 0,008	49 ± 2
<b>Abril</b>	< 0,2 (a)	0,074 ± 0,009	50 ± 3
<b>Maió</b>	< 0,2 (a)	< 0,079 (b)	52 ± 3
<b>Junho</b>	< 0,1 (a)	< 0,022 (b)	51 ± 2
<b>Julho</b>	< 0,1 (a)	0,028 ± 0,007	46 ± 3
<b>Agosto</b>	< 0,1 (a)	0,023 ± 0,004	45 ± 4
<b>Setembro</b>	< 0,1 (a)	(c)	50 ± 7
<b>Outubro</b>	< 0,2 (a)	(c)	56 ± 8
<b>Novembro</b>	< 0,1 (a)	(d)	51 ± 7
<b>Dezembro</b>	< 0,1 (a)	(d)	52 ± 3

(a) Actividade mínima detectável em <sup>137</sup>Cs; (b) Actividade mínima detectável em <sup>90</sup>Sr.

(c) Amostra perdida durante o processo analítico;

(d) Resultado da medição da amostra não fiável devido a avaria do equipamento de medida;

**Tabela 38 – Valores de actividade específica,  $A$  ( $\text{Bq L}^{-1}$ ), dos radionuclídeos  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  e  $^7\text{Be}$  em leite proveniente da Serraleite (Portalegre). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% ( $2\sigma$ ) para o  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{40}\text{K}$  e de 68% ( $1\sigma$ ) para o  $^{90}\text{Sr}$**

Data de colheita	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{40}\text{K}$
<b>Janeiro</b>	< 0,2 (a)	< 0,013 (b)	51 ± 3
<b>Fevereiro</b>	< 0,1 (a)	< 0,021 (b)	48 ± 2
<b>Março</b>	< 0,2 (a)	< 0,026 (b)	49 ± 2
<b>Abril</b>	< 0,2 (a)	0,076 ± 0,009	51 ± 3
<b>Maiο</b>	< 0,2 (a)	0,043 ± 0,008	53 ± 3
<b>Junho</b>	< 0,2 (a)	< 0,023 (b)	45 ± 2
<b>Julho</b>	< 0,1 (a)	0,019 ± 0,005	45 ± 6
<b>Agosto</b>	< 0,2 (a)	0,009 ± 0,003	53 ± 3
<b>Setembro</b>	< 0,1 (a)	< 0,018 (b)	48 ± 3
<b>Outubro</b>	< 0,1 (a)	(c)	50 ± 7
<b>Novembro</b>	< 0,1 (a)	(d)	50 ± 3
<b>Dezembro</b>	< 0,1 (a)	0,070 ± 0,008	47 ± 3

(a) Actividade mínima detectável em  $^{137}\text{Cs}$ ; (b) Actividade mínima detectável em  $^{90}\text{Sr}$ .

(c) Amostra perdida durante o processo analítico;

(d) Resultado da medição da amostra não fiável devido a avaria do equipamento de medida;

**Tabela 39 – Valores de actividade específica, A (Bq L<sup>-1</sup>), dos radionuclidos <sup>137</sup>Cs, <sup>40</sup>K e <sup>7</sup>Be em leite proveniente da Lactogal (Tocha). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para o <sup>137</sup>Cs e <sup>40</sup>K e de 68% (1σ) para o <sup>90</sup>Sr**

Data de colheita	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>40</sup> K
<b>Janeiro</b>	< 0,3 (a)	0,027 ± 0,008	48 ± 4
<b>Abril</b>	< 0,1 (a)	< 0,024 (b)	52 ± 3
<b>Julho</b>	< 0,1 (a)	0,024 ± 0,005	49 ± 1
<b>Outubro</b>	< 0,1 (a)	< 0,010 (b)	47 ± 7

**Tabela 40 – Valores de actividade específica, A (Bq L<sup>-1</sup>), dos radionuclidos <sup>137</sup>Cs, <sup>40</sup>K e <sup>7</sup>Be em leite proveniente da Parmalat (Águas de Moura). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para o <sup>137</sup>Cs e <sup>40</sup>K e de 68% (1σ) para o <sup>90</sup>Sr**

Data de colheita	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>40</sup> K
<b>Março</b>	< 0,1 (a)	< 0,026 (b)	50 ± 2
<b>Maio</b>	< 0,2 (a)	0,062 ± 0,013	53 ± 3
<b>Agosto</b>	< 0,2 (a)	0,013 ± 0,004	50 ± 3
<b>Dezembro</b>	< 0,1 (a)	0,014 ± 0,006	50 ± 7

**Tabela 41 – Valores de actividade específica, A (Bq L<sup>-1</sup>), dos radionuclidos <sup>137</sup>Cs, <sup>40</sup>K e <sup>7</sup>Be em leite proveniente das Regiões autónomas (Madeira e Açores). As incertezas correspondem a um nível de confiança de 95% (2σ) para o <sup>137</sup>Cs e <sup>40</sup>K e de 68% (1σ) para o <sup>90</sup>Sr**

Data de colheita	Proveniência	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>40</sup> K
<b>Fevereiro</b>	<b>Madeira</b>	< 0,1 (a)	< 0,024 (b)	47 ± 2
<b>Agosto</b>		< 0,1 (a)	(c)	57 ± 3
<b>Abril</b>	<b>Açores</b>	0,3 ± 0,05	0,077 ± 0,009	52 ± 2
<b>Novembro</b>		0,6 ± 0,2	(d)	48 ± 7

(a) Actividade mínima detectável em <sup>137</sup>Cs; (b) Actividade mínima detectável em <sup>90</sup>Sr.

(c) Amostra perdida durante o processo analítico;

(d) Resultado da medição da amostra não fiável devido a avaria do equipamento de medida;

## 6. RADIOACTIVIDADE EM SOLOS

### 6.1. Material e Métodos

Procedeu-se a uma amostragem anual de solos recolhidos aleatoriamente em diferentes locais no país. Realizaram-se também amostragens mensais de solos no *Campus* de Sacavém do ITN (em frente à Instalação Piloto e ao edifício da Química) e no *Campus* da Petrolgal, 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. Os locais de amostragem estão representados na Figura 2.

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 ( $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$ ) e os seus descendentes. Os solos colhidos no *Campus* de Sacavém do ITN e no *Campus* da Petrolgal, 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  $^{131}\text{I}$ .

### 6.2. Resultados e Discussão

Na Tabela 42 e Figura 20 estão presentes os valores de actividade específica,  $A$  ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ), dos radionuclidos naturais e artificiais detectados em solos colhidos em várias regiões do país.

Como se pode observar os valores obtidos para o  $^{235}\text{U}$  situam-se, em geral, abaixo dos valores da actividade mínima detectável. Os valores mensuráveis são da mesma ordem de grandeza da actividade mínima detectável, variando entre  $2,6\pm 0,8$  e  $5,0\pm 6$   $\text{Bq kg}^{-1}$ , com excepção do valor obtido no solo colhido em Nisa cujo valor é de  $36\pm 4$   $\text{Bq kg}^{-1}$ . O  $^{228}\text{Ra}$ , radionuclido da família radioactiva do  $^{232}\text{Th}$ , apresenta valores que variam entre  $6,1\pm 0,6$   $\text{Bq kg}^{-1}$  e  $68\pm 2$   $\text{Bq kg}^{-1}$ . Os valores de actividade específica em  $^{238}\text{U}$  (considerando-se em equilíbrio radioactivo secular com o  $^{234}\text{Th}$ ),  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$ , radionuclidos da família natural do Urânio, são em geral baixos e da mesma ordem de grandeza, com excepção dos valores mais elevados, cerca de uma ordem de grandeza, observados para os solos colhidos em Nisa. Isto deve-se ao

facto deste solo ser proveniente de uma região com elevado fundo radiológico devido à constituição do substrato geológico que é rico em Urânio. A actividade em  $^{40}\text{K}$  é bastante variável podendo estar relacionada com a aplicação nalguns solos de potássio como fertilizante. Os valores de actividade específica em  $^{137}\text{Cs}$  variam de uma ordem de grandeza situando-se entre  $0,6\pm 0,3$  e  $9,6\pm 0,7$   $\text{Bq kg}^{-1}$ .

Nas Tabelas 43 e 44 (Figuras 22 e 23) estão expressos os valores de actividade específica,  $A$  ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ), dos radionuclidos naturais e artificiais detectados em solos provenientes do *Campus* do ITN (Sacavém) em frente à Instalação Piloto e ao edifício da Química, respectivamente.

Constata-se que nos solos colhidos no *Campus* do ITN em frente à Instalação Piloto os valores de actividade específica em  $^{238}\text{U}$  (considerado em equilíbrio radioactivo secular com o  $^{234}\text{Th}$ ), com um valor médio anual de  $363\pm 188$   $\text{Bq kg}^{-1}$ , são mais elevados do que os observados para os solos colhidos em frente ao edifício da Química e em várias regiões do país (Tabela 42). Resultados semelhantes tinham já sido reportados (Madruga *et al.*, 2006) e podem ser explicados por os solos terem sido colhidos no *Campus* do ITN num local perto da antiga instalação piloto onde, nos anos 60 e 70 do século passado, se procedeu ao tratamento do minério de Urânio. Os valores obtidos para o  $^{228}\text{Ra}$  e o  $^{226}\text{Ra}$  são baixos e relativamente constantes para os dois locais de amostragem. O valor da actividade específica média anual em  $^{210}\text{Pb}$  no solo junto à Instalação Piloto é cerca do dobro do valor obtido para o  $^{226}\text{Ra}$ , o que indica a não existência de equilíbrio radioactivo secular entre estes dois radionuclidos. Relativamente ao  $^{137}\text{Cs}$  o valor da actividade específica média anual no solo colhido em frente à Instalação Piloto é de  $12\pm 6$   $\text{Bq kg}^{-1}$ . Os valores em  $^{131}\text{I}$  são para os dois solos inferiores à actividade mínima detectável (variando entre 0,1 e 2,6  $\text{Bq kg}^{-1}$ , dependendo das condições de medição).

Os valores obtidos para os solos provenientes do *Campus* da Petrogal (Tabela 45, Figura 21) são da mesma ordem de grandeza dos observados em solos provenientes de várias regiões do país.



**Tabela 42 – 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	$^{235}U$	$^{238}U^*$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{210}Pb$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<i>Tocha</i>	< 5,4 (a)	< 8,2 (a)	$6,1 \pm 0,6$	$7,2 \pm 0,8$	$11 \pm 4$	$4,3 \pm 0,6$	$291 \pm 33$	< 17,1 (a)
<i>Aveiro</i>	< 8,2 (a)	$30 \pm 5$	$28 \pm 2$	$28 \pm 2$	$29 \pm 5$	$4,5 \pm 0,8$	$644 \pm 65$	< 24,5 (a)
<i>Vila do Conde</i>	< 9,0 (a)	$62 \pm 8$	$64 \pm 3$	$62 \pm 3$	$47 \pm 6$	< 2,3	$843 \pm 82$	< 26,3 (a)
<i>Monsaraz (M)</i>	< 2,6 (a)	$35 \pm 5$	$52 \pm 2$	$21 \pm 1$	$20 \pm 3$	$2,6 \pm 0,4$	$643 \pm 27$	< 10,0 (a)
<i>Monsaraz (O)</i>	< 2,6 (a)	$21 \pm 3$	$33 \pm 1$	$11 \pm 1$	$9 \pm 2$	$3,3 \pm 0,4$	$348 \pm 20$	< 5,8 (a)
<i>Sines</i>	< 2,1 (a)	< 3,5 (a)	$8,2 \pm 0,5$	$6,4 \pm 0,4$	$16 \pm 2$	$2,2 \pm 0,3$	$660 \pm 58$	< 6,2 (a)
<i>Vila do Bispo</i>	< 2,3 (a)	$15 \pm 1$	$17,6 \pm 0,4$	$12,3 \pm 0,3$	$12 \pm 1$	$3,4 \pm 0,2$	$381 \pm 17$	$8,3 \pm 2,2$
<i>Silves</i>	< 1,4 (a)	$7,8 \pm 1,5$	$10 \pm 6$	$8,2 \pm 5,4$	$13 \pm 2$	$0,6 \pm 0,3$	$172 \pm 17$	< 5,5 (a)
<i>Leça da Palmeira</i>	$5,0 \pm 0,6$	$71 \pm 4$	$54 \pm 1$	$65 \pm 1$	$53 \pm 2$	$3,0 \pm 2,0$	$901 \pm 24$	$5,6 \pm 1,6$
<i>Figueira da Foz</i>	< 1,6 (a)	$7,2 \pm 0,6$	$7,4 \pm 0,2$	$6,6 \pm 0,2$	$8,1 \pm 0,7$	$2,0 \pm 0,2$	$385 \pm 17$	< 6,1 (a)
<i>Ázere</i>	$3,8 \pm 0,9$	$71 \pm 8$	$41 \pm 2$	$48 \pm 2$	$43 \pm 4$	$9,6 \pm 0,7$	$632 \pm 34$	< 6,3 (a)
<i>Poiares</i>	< 2,5 (a)	$17 \pm 2$	$59 \pm 2$	$17 \pm 1$	$17 \pm 2$	$5,0 \pm 0,5$	$828 \pm 43$	< 8,8 (a)
<i>F. Castelo Rodrigo</i>	$2,6 \pm 0,8$	$38 \pm 4$	$20 \pm 1$	$38 \pm 2$	$34 \pm 3$	$2,6 \pm 0,3$	$831 \pm 43$	< 4,6 (a)
<i>Barca d'Alva</i>	< 2,6 (a)	$21 \pm 3$	$64 \pm 2$	$27 \pm 1$	$27 \pm 3$	$8,6 \pm 0,7$	$856 \pm 44$	< 7,5 (a)
<i>V. Velha de Rodão</i>	$4,1 \pm 2,0$	$39 \pm 5$	$68 \pm 2$	$54 \pm 2$	$50 \pm 5$	$8,2 \pm 0,8$	$732 \pm 65$	< 6,1 (a)
<i>Nisa</i>	$36 \pm 4$	$344 \pm 35$	$32 \pm 2$	$544 \pm 21$	$317 \pm 21$	$8,4 \pm 0,7$	$471 \pm 28$	< 14,6 (a)

(a) Actividade mínima detectável; \*Considerando o  $^{238}U$  em equilíbrio radioactivo secular com o  $^{234}Th$ ;

**Tabela 43 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em solos provenientes do *Campus* do ITN em Sacavém (em frente à Instalação Piloto)**

Data de colheita	<sup>235</sup> U	<sup>238</sup> U*	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be	<sup>131</sup> I
<b>Janeiro</b>	34 ± 4	516 ± 50	46 ± 2	46 ± 2	96 ± 10	17 ± 2	459 ± 41	< 13 (a)	< 2,6 (a)
<b>Fevereiro</b>	15 ± 3	229 ± 25	62 ± 3	45 ± 2	113 ± 11	7,7 ± 0,7	548 ± 28	< 12 (a)	< 1,4 (a)
<b>Março</b>	11 ± 1	200 ± 20	62 ± 2	41 ± 2	87 ± 7	5,1 ± 0,7	413 ± 53	< 13 (a)	< 1,5 (a)
<b>Abril</b>	9 ± 1	146 ± 14	45 ± 2	26 ± 1	45 ± 4	5,5 ± 0,6	549 ± 26	< 10 (a)	< 1,2 (a)
<b>Mai</b>	29 ± 3	501 ± 42	48 ± 2	47 ± 2	93 ± 8	15 ± 1	539 ± 30	< 11 (a)	< 1,4 (a)
<b>Junho</b>	23 ± 2	399 ± 34	50 ± 2	38 ± 2	104 ± 8	14 ± 1	483 ± 47	< 10 (a)	< 0,7 (a)
<b>Julho</b>	13 ± 2	308 ± 28	57 ± 2	37 ± 2	101 ± 8	4,8 ± 0,6	557 ± 51	< 7 (a)	< 0,7 (a)
<b>Agosto</b>	16 ± 2	277 ± 26	58 ± 2	61 ± 2	117 ± 9	12 ± 1	532 ± 28	< 10 (a)	< 0,1 (a)
<b>Setembro</b>	8 ± 2	185 ± 20	56 ± 2	39 ± 2	131 ± 10	6 ± 1	527 ± 31	< 10 (a)	< 0,9 (a)
<b>Outubro</b>	14 ± 2	237 ± 24	55 ± 2	44 ± 2	71 ± 7	15 ± 1	579 ± 57	< 6 (a)	< 0,7 (a)
<b>Novembro</b>	44 ± 4	680 ± 6	47 ± 2	50 ± 2	94 ± 8	20 ± 2	573 ± 56	< 7 (a)	< 0,8 (a)
<b>Dezembro</b>	37 ± 4	674 ± 50	61 ± 2	57 ± 2	100 ± 98	20 ± 2	589 ± 34	10 ± 3	< 0,6 (a)
<b>Média ± σ (n=12)</b>	<b>21 ± 12</b>	<b>363 ± 188</b>	<b>54 ± 6</b>	<b>44 ± 9</b>	<b>96 ± 22</b>	<b>12 ± 6</b>	<b>529 ± 52</b>	<b>&lt; 10</b>	<b>&lt; 1,0</b>

(a) Actividade mínima detectável; \* Considerando o <sup>238</sup>U em equilíbrio radioactivo secular com o <sup>234</sup>Th;

**Tabela 44 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>), de radionuclidos naturais e artificiais emissores gama em solos provenientes do *Campus* do ITN em Sacavém (em frente ao edifício de Química)**

Data de colheita	<sup>235</sup> U	<sup>238</sup> U*	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be	<sup>131</sup> I
<b>Maio</b>	2,5 ± 0,5	46 ± 3	50 ± 1	29 ± 1	57 ± 2	4,8 ± 0,3	549 ± 23	12 ± 2	< 0,7 (a)
<b>Junho</b>	3,1 ± 2,5	36 ± 5	50 ± 2	28 ± 1	54 ± 5	2,7 ± 0,5	511 ± 27	< 8 (a)	< 1,4 (a)
<b>Julho</b>	< 2,5 (a)	25 ± 3	58 ± 2	31 ± 1	49 ± 4	3,0 ± 0,2	509 ± 24	< 8 (a)	< 0,7 (a)
<b>Agosto</b>	< 3,3 (a)	48 ± 6	52 ± 2	27 ± 1	79 ± 7	5,0 ± 1,0	811 ± 68	< 11 (a)	< 1,2 (a)
<b>Setembro</b>	< 3,6 (a)	47 ± 6	64 ± 2	34 ± 1	57 ± 6	3,5 ± 0,6	592 ± 53	8 ± 4	< 0,5 (a)
<b>Outubro</b>	< 3,4 (a)	22 ± 3	51 ± 2	31 ± 1	48 ± 5	2,3 ± 0,6	503 ± 45	< 5 (a)	< 0,5 (a)
<b>Novembro</b>	< 3,4 (a)	23 ± 3	59 ± 2	35 ± 2	46 ± 5	1,6 ± 0,6	565 ± 50	7 ± 3	< 0,5 (a)
<b>Dezembro</b>	< 2,4 (a)	22 ± 3	60 ± 2	37 ± 2	44 ± 5	1,9 ± 0,3	592 ± 53	< 4 (a)	< 0,4 (a)

(a) Actividade mínima detectável; \* Considerando o <sup>238</sup>U em equilíbrio radioactivo secular com o <sup>234</sup>Th;

**Tabela 45 – Valores de actividade específica,  $A \pm 2\sigma$  (Bq kg<sup>-1</sup>), de radionuclídeos naturais e artificiais emissores gama em solos provenientes do *Campus da Petrolal***

Data de colheita	<sup>235</sup> U	<sup>238</sup> U*	<sup>228</sup> Ra	<sup>226</sup> Ra	<sup>210</sup> Pb	<sup>137</sup> Cs	<sup>40</sup> K	<sup>7</sup> Be	<sup>131</sup> I
<b>Janeiro</b>	< 7,8 (a)	24 ± 4	25 ± 1	14 ± 1	21 ± 4	< 2,6 (a)	522 ± 41	< 18 (a)	< 2,1 (a)
<b>Fevereiro</b>	< 8,4 (a)	31 ± 5	37 ± 2	22 ± 1	23 ± 5	< 1,5 (a)	564 ± 23	< 10 (a)	< 1,2 (a)
<b>Março</b>	2,6 ± 0,9	26 ± 3	35 ± 1	21 ± 1	19 ± 2	< 1,4 (a)	582 ± 58	< 10 (a)	< 1,5 (a)
<b>Abril</b>	< 2,7 (a)	28 ± 3	36 ± 1	20 ± 1	22 ± 3	< 0,8 (a)	485 ± 22	< 8 (a)	< 1,3 (a)
<b>Mai</b>	2,6 ± 0,5	30 ± 2	43 ± 1	26 ± 1	33 ± 2	< 1,1 (a)	593 ± 26	23 ± 2	< 1,1 (a)
<b>Junho</b>	1,5 ± 0,7	25 ± 3	36 ± 2	22 ± 1	26 ± 3	1,1 ± 0,3	553 ± 50	12 ± 2	< 0,4 (a)
<b>Julho</b>	< 2,0 (a)	26 ± 3	30 ± 1	17 ± 1	25 ± 3	1,3 ± 0,4	581 ± 49	10 ± 3	< 1,1 (a)
<b>Agosto</b>	2,1 ± 0,8	19 ± 3	41 ± 2	25 ± 1	24 ± 3	2,4 ± 0,5	551 ± 25	< 7 (a)	< 1,1 (a)
<b>Setembro</b>	< 3,1 (a)	28 ± 4	32 ± 1	18 ± 1	32 ± 4	0,7 ± 0,4	659 ± 57	10 ± 5	< 0,9 (a)
<b>Outubro</b>	< 2,0 (a)	16 ± 2	35 ± 2	22 ± 1	22 ± 3	< 0,9 (a)	532 ± 25	< 0,6 (a)	< 0,7 (a)
<b>Novembro</b>	< 2,2 (a)	15 ± 2	41 ± 2	27 ± 1	19 ± 3	0,6 ± 0,3	565 ± 30	< 3,4 (a)	< 0,5 (a)
<b>Dezembro</b>	< 2,0 (a)	18 ± 3	36 ± 2	24 ± 1	19 ± 3	1,2 ± 0,5	580 ± 50	6 ± 3	< 0,9 (a)
<b>Média ± σ (n=12)</b>	<b>&lt; 3,2</b>	<b>24 ± 5</b>	<b>36 ± 5</b>	<b>21 ± 4</b>	<b>24 ± 5</b>	<b>&lt; 1,3</b>	<b>564 ± 43</b>	<b>&lt; 9,8</b>	<b>&lt; 1,1</b>

(a) Actividade mínima detectável; \* Considerando o <sup>238</sup>U em equilíbrio radioactivo secular com o <sup>234</sup>Th.

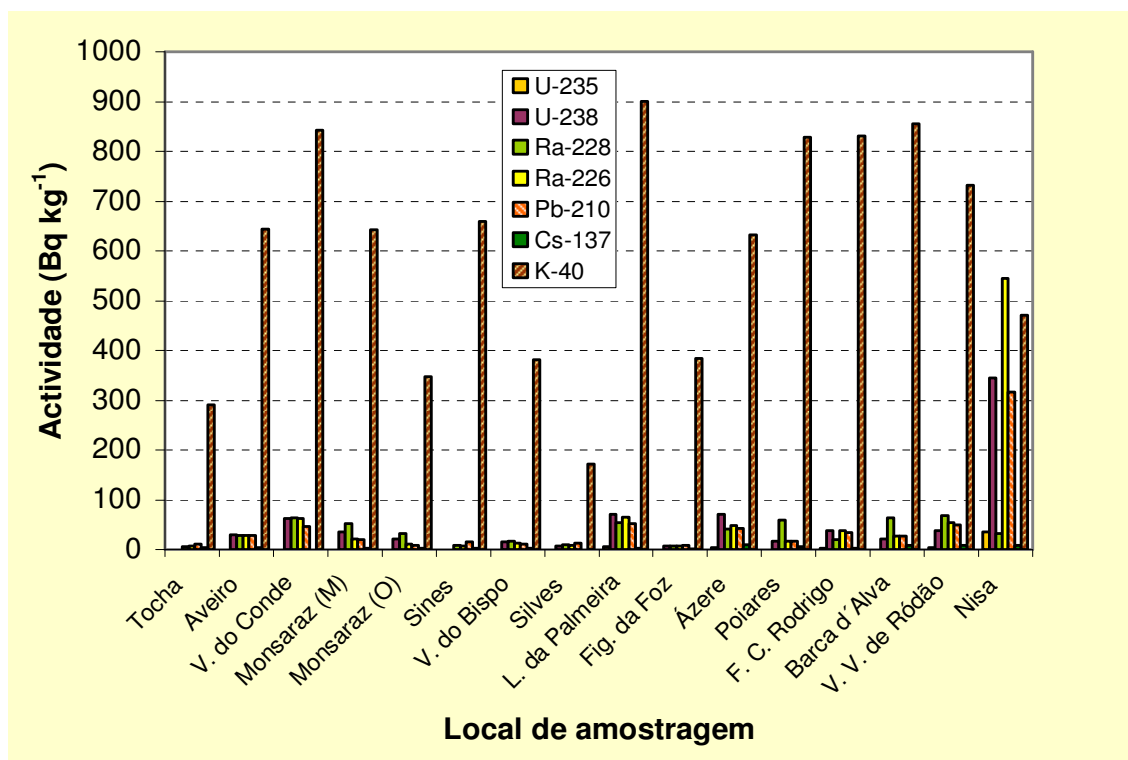


Figura 20- Actividade específica (Bq kg<sup>-1</sup>) de radionuclidos naturais e artificiais em solos colhidos em diferentes regiões do país

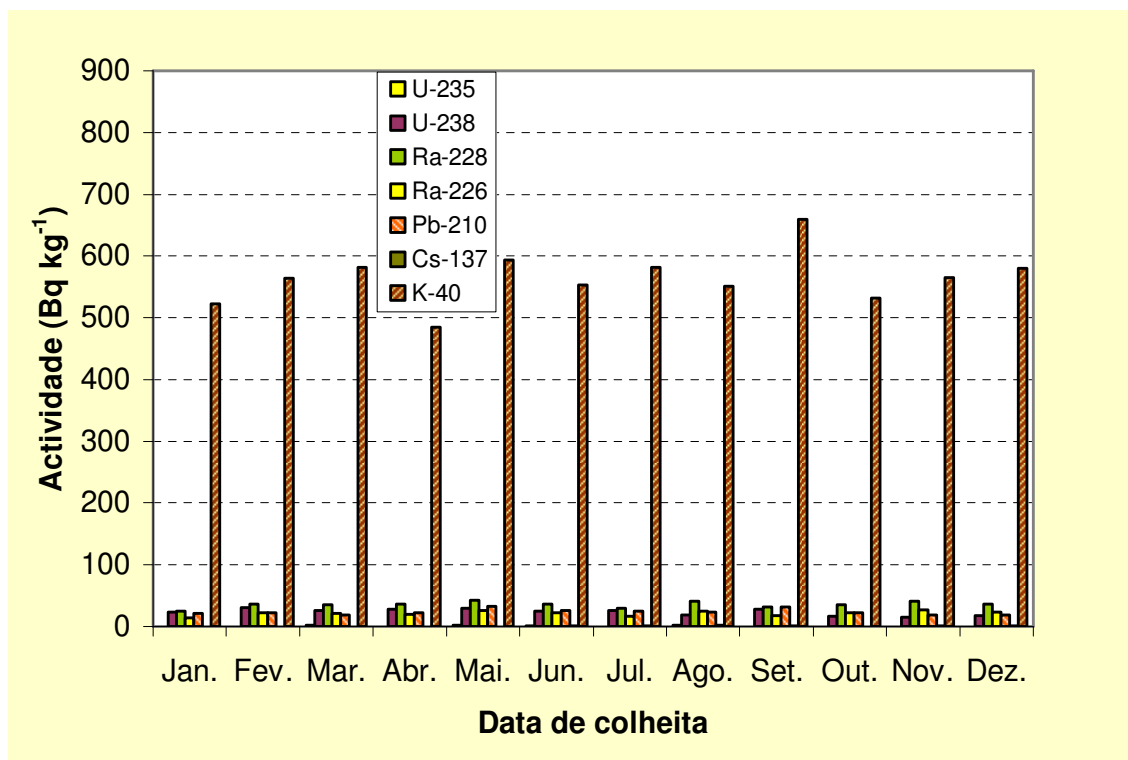


Figura 21- Actividade específica (Bq kg<sup>-1</sup>) de radionuclidos naturais e artificiais em solos colhidos no Campus da Petrolal

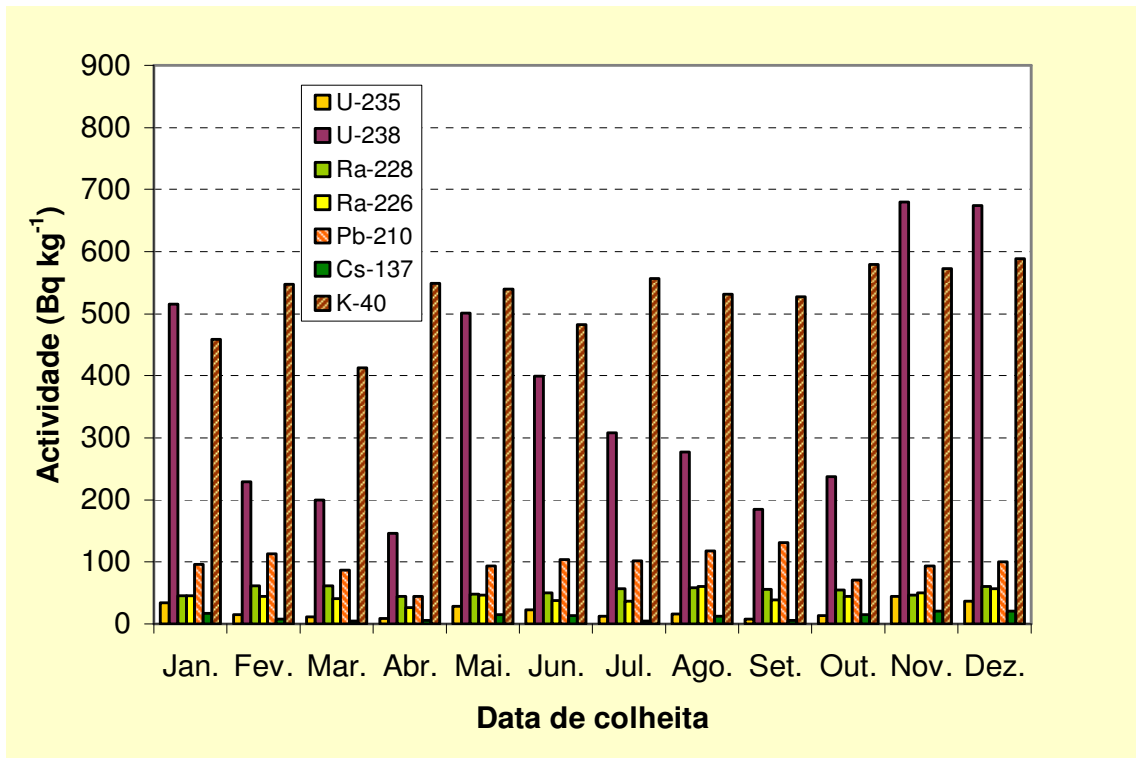


Figura 22- Actividade específica (Bq kg<sup>-1</sup>) de radionuclidos naturais e artificiais em solos colhidos em Sacavém no *Campus* do ITN (em frente à instalação piloto)

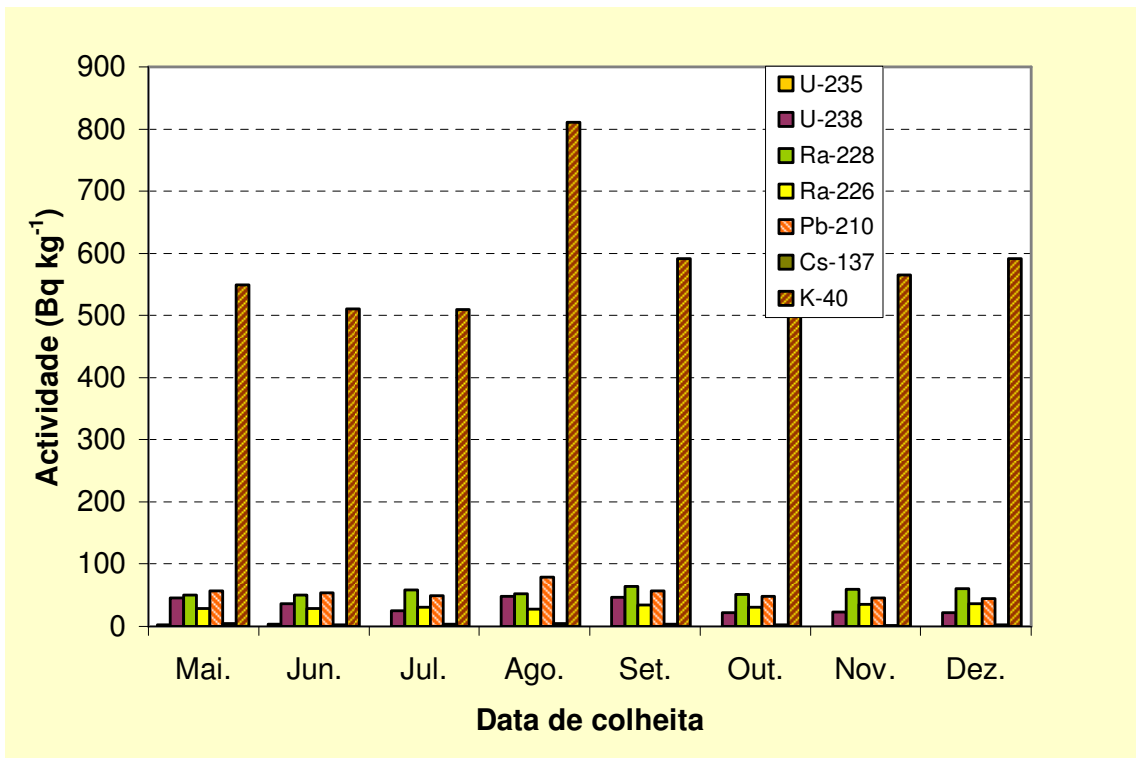


Figura 23- Actividade específica (Bq kg<sup>-1</sup>) de radionuclidos naturais e artificiais em solos colhidos em Sacavém no *Campus* do ITN (em frente ao edifício de Química)

## 7. AVALIAÇÃO DA DOSE DE RADIAÇÃO GAMA AMBIENTAL

### 7.1. Material e Métodos

Durante o ano de 2006, o número de pontos dedicados à avaliação da dose de radiação gama ambiental com detectores passivos termoluminescentes foi alargado, passando dos três pontos do *Campus* do ITN monitorizados em 2005, para uma rede de pontos de medida cobrindo o território nacional (Figura 2).

Os locais foram escolhidos de forma a ser possível avaliar a dose nas regiões mais densamente habitadas de Lisboa (pontos do *Campus* do ITN) e do Porto (Vila Nova de Gaia), na região correspondente ao eixo Bragança, Castelo Branco, Penhas Douradas, Portalegre, Beja e Faro, bem como no Funchal e em Ponta Delgada, como locais representativos das Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores, respectivamente. No entanto, por razões logísticas, durante 2006 apenas o Funchal foi monitorizado a partir do segundo trimestre.

No *Campus* do ITN em Sacavém, mantiveram-se os mesmos três pontos monitorizados durante o ano de 2005, seleccionados de acordo com a direcção preferencial dos ventos em relação ao RPI e na vizinhança dos detectores de radiação gama de medida directa. Os pontos de medida escolhidos localizam-se no topo do edifício da Biblioteca, no terraço do edifício das Oficinas e próximo do anemómetro, no campo entre o edifício do DPRSN e o pavilhão de resíduos a um metro do solo. Considerou-se que os valores medidos nos pontos ITN Oficinas e ITN Biblioteca são representativos para a região de Lisboa.

Com o objectivo de garantir a segurança física dos dosímetros durante os períodos de exposição de cerca de três meses, no exterior, facilitar os processos de colocação, remoção e envio dos dosímetros ao ITN para avaliação, e ainda, tendo em consideração o carácter contínuo da monitorização ambiental, escolheram-se pontos de medida localizados no interior dos parques das estações meteorológicas do Instituto de Meteorologia, em cada uma das localidades acima mencionadas. No caso de Vila Nova de Gaia, os dosímetros foram colocados no parque da estação meteorológica do Instituto Geofísico da Universidade do Porto, tendo-se estabelecido para este efeito colaborações com as duas entidades mencionadas.

Realizaram-se quatro campanhas de monitorização, correspondendo aproximadamente, aos quatro trimestres do ano. No início do primeiro período de integração os dosímetros foram individualmente distribuídos pelos vários pontos de medida no País para escolha dos locais de amostragem, familiarização das entidades colaborantes com o tipo de dosímetros, bem como com o processo de substituição e posterior envio para o ITN para avaliação. Nos restantes períodos, os dosímetros de medida foram trocados por correio, sempre acompanhados por um conjunto de dosímetros *de trânsito*, com o intuito de identificar e eventualmente corrigir, alguma exposição anómala verificada durante os trajectos.

Em todos os pontos, os dosímetros foram colocados a um metro do solo, excepto no caso de Faro, onde foram colocados no terraço do edifício do Centro Coordenador do Meteorologia, à semelhança dos pontos ITN Oficinas e ITN Biblioteca do *Campus* do ITN, em Sacavém. As medidas realizadas no *Campus* do ITN tiveram uma frequência superior às das outras localizações, correspondendo a cerca de três avaliações em cada trimestre, dada a proximidade dos pontos de medida e no seguimento da metodologia desenvolvida em 2005 (Alves *et al.*, 2006a & 2006b).

A metodologia utilizada na avaliação da dose ambiental baseia-se na metodologia seguida na dosimetria individual por termoluminescência, adaptada e optimizada aos requisitos das medidas ambientais (Alves *et al.*, 2006a & 2006b). O dosímetro termoluminescente utilizado consiste no cartão Harshaw 8814 contendo dois detectores de LiF:Mg,Ti (TLD-100) inserido no respectivo portadosímetro, 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 nos 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 metodologia anteriormente descrita (Alves *et al.*, 2006c & 2006d). Em cada ponto de medida foram colocados 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 todos expressos em termos do débito de equivalente de dose ambiental,  $\dot{H}^*(10)$ , em unidades de  $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$  (ou seja, nanosievert por hora).



## 7.2 Resultados e Discussão

Na Tabela 46 apresentam-se os valores médios trimestrais do débito de equivalente de dose ambiental medidos no *Campus* do ITN, bem como os respectivos valores médios anuais. Os valores médios trimestrais foram obtidos a partir das médias das leituras realizadas com os conjuntos de dosímetros expostos durante períodos de integração superiores a 60 dias em cada trimestre (Alves *et al.*, 2006a & 2006b; Madruga *et al.*, 2006). As incertezas respectivas foram calculadas através dos desvios padrão das médias atrás mencionadas. Para o cálculo dos valores médios anuais, consideraram-se todas as leituras realizadas em 2006 correspondentes a períodos de exposição superiores a 60 dias, em que a respectiva incerteza foi também calculada a partir do desvio padrão das médias.

Considerando todas as medidas realizadas em 2006 com períodos de integração superiores a 60 d, os intervalos de variação, dados pelos valores mínimo e máximo registados oscilaram entre 79 e 92 nSv.h<sup>-1</sup> para o ponto ITN Oficinas, entre 80 e 95 nSv.h<sup>-1</sup> para o ponto ITN Biblioteca e entre 115 e 147 nSv.h<sup>-1</sup> para o ponto ITN DPRSN.

Observa-se que os valores médios e os respectivos intervalos de variação são semelhantes aos valores avaliados durante o ano de 2005 (Madruga *et al.* 2006). Observa-se também que os valores medidos nos pontos ITN Oficinas e ITN Biblioteca são muito semelhantes entre si, enquanto que no ponto ITN DPRSN o débito de equivalente de dose é bastante superior, atribuído à proximidade do pavilhão de resíduos de média e baixa actividade.

Na Tabela 47 representam-se os valores médios do débito de equivalente de dose ambiental medidos nos vários pontos do País em cada trimestre, bem como a respectiva incerteza, obtida a partir do desvio padrão das leituras. O valor apresentado para Lisboa é o valor médio das medidas realizadas nos pontos ITN Oficinas e ITN Biblioteca (com períodos de integração superiores a 60 d, em cada trimestre).

Na Tabela 47 apresentam-se também os valores médios anuais medidos nos vários pontos do País. Os mesmos valores estão representados na Figura 24.

Observa-se que os valores do débito de equivalente de dose ambiental medidos no ponto ITN Oficinas e ITN Biblioteca são muito próximos entre si e que os valores medidos no ponto ITN DPRSN são sistematicamente mais elevados do que os outros dois, provavelmente devido à proximidade do pavilhão de resíduos de média e baixa actividade. Os valores médios e os respectivos intervalos de variação registados em 2006, bem como os respectivos comentários, coincidem com os anteriormente reportados no relatório do ano 2005 (Madruga *et al.* 2006).

Os valores médios do débito de equivalente de dose avaliados nos vários pontos do País dependem fundamentalmente da constituição geológica dos solos, bem como da altitude

média do ponto de medida (Amaral, 1995). Os valores medidos em 2006 e apresentados na Tabela 47 são valores considerados normais, compatíveis com valores anteriormente publicados para cada uma destas regiões (Amaral, 1995).

Observa-se ainda que o débito de dose de radiação ambiental medido no ITN DPRSN durante 2005 e 2006, não excedem, ou são relativamente semelhantes, a outros valores registados noutros locais do País, afectados apenas pelo fundo de radiação natural.

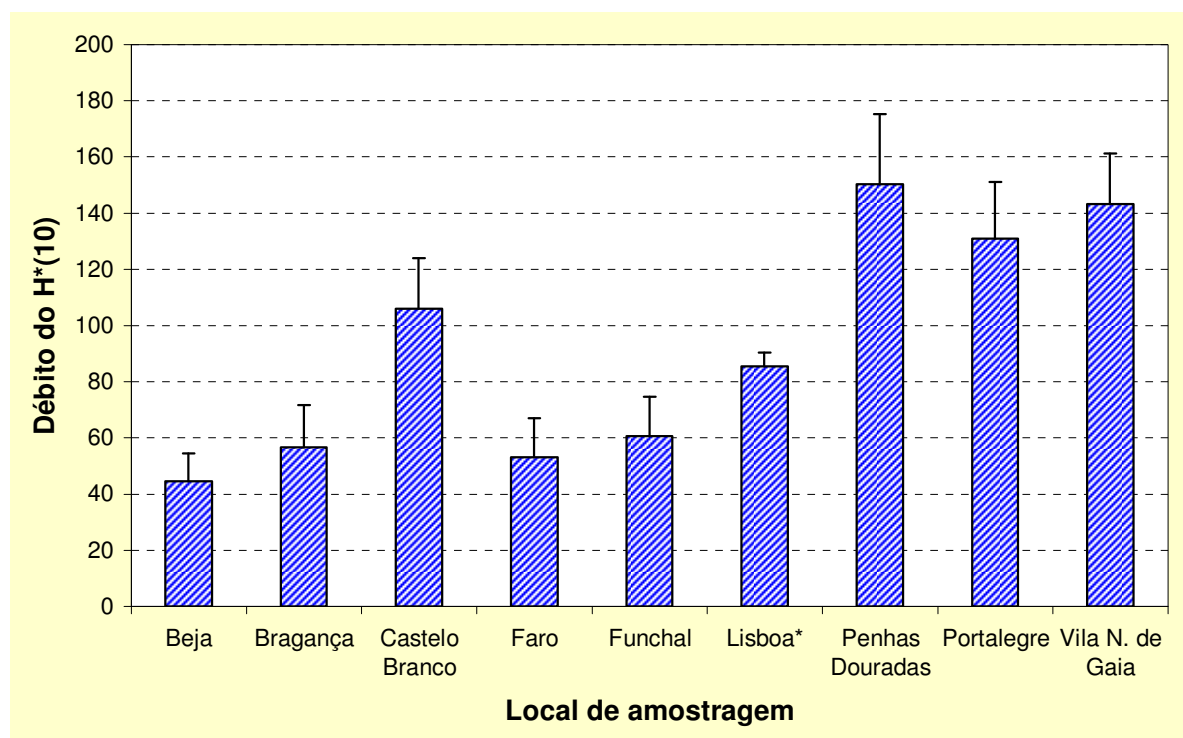
**Tabela 46 – Valores médios ( $\pm 1\sigma$ ) trimestrais e anual do débito do equivalente de dose ambiental, medidos no *Campus* do ITN (todos os valores estão expressos em nSv.h<sup>-1</sup>).**

Local de medida	I	II	III	IV	Média anual
ITN Oficinas	86±6	83±4	84±4	84±7	84±5
ITN Biblioteca	87±8	86±1	88±5	86±2	87±4
ITN DPRSN	128±13	141±8	138±6	131±13	134±10

**Tabela 47 – Valores médios ( $\pm 1\sigma$ ) trimestrais e anual do débito do equivalente de dose ambiental medido em cada uma das localidades do País (valores expressos em nSv.h<sup>-1</sup>).**

Local de medida	I	II	III	IV	Média anual
Beja	46±3	57±10	30±14	45±10	45±10
Bragança	55±12	72±19	44±16	56±12	57±15
Castelo Branco	125±12	84±13	116±27	99±15	106±18
Faro	42±13	62±13	55±15	nd	53±14
Funchal	nc	53±7	69±20	60±10	61±14
Lisboa*	87±6	84±3	86±5	85±5	86±5
Penhas Douradas	121±38	168±11	162±24	150±20	150±25
Portalegre	135±7	117±14	142±31	130±20	131±20
Vila Nova de Gaia	152±22	126±18	145±14	150±16	143±18

(\*) média dos pontos ITN Oficinas e Biblioteca; nc: não colocado; nd: não devolvido.



**Figura 24 – Valores médios anuais do débito de equivalente de dose ambiental medido nos vários pontos do País (valores expressos em nSv.h<sup>-1</sup>).**

## 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  $^{40}\text{K}$ , são valores típicos do fundo radioactivo natural, isto é, não alterado pela acção humana. As concentrações dos radionuclidos de origem artificial, designadamente do  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^3\text{H}$ , 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 representa cerca de 3% do limite de dose permitida para membros do público ( $1 \text{ mSv a}^{-1}$ ) (Directiva 96/29 EURATOM).

Os resultados do programa de 2006 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  $^3\text{H}$  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**

- Às Direcções Regionais de Agricultura do Continente, à Direcção Geral de Veterinária, à Inspecção Regional das Actividades Económicas dos Açores e à Secretaria Regional do Ambiente e Recursos Naturais da Madeira, pelo apoio prestado na aquisição e envio de amostras dos produtos alimentares;
- À Lactogal, Serraleite e Parmalat pela disponibilidade na cedência das amostras de leite;
- Aos Serviços de Acção Social da Universidade de Lisboa (SASUL) por ter autorizado a colheita de amostras de refeição completa na cantina da Faculdade de Ciências de Lisboa;
- À Petrogal por permitir a colheita de solos nas suas instalações no Parque de Sacavém;
- À Direcção Municipal de Actividades Económicas da Câmara Municipal de Lisboa por ter autorizado a colheita de amostras de água para consumo humano no Laboratório de Bromatologia em Lisboa;
- Ao Instituto de Meteorologia, por ter permitido a colocação e substituição periódica dos detectores TLD nas estações meteorológicas instaladas no Continente e nas Regiões Autónomas, bem como a instalação de um colhedor de deposição atmosférica nas instalações de Castelo Branco;
- Ao Instituto Geofísico da Universidade do Porto, por ter igualmente permitido a colocação e substituição periódica dos detectores TLD no respectivo parque meteorológico.

## 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., Novais L., Rangel S. (2006a). Environmental gamma radiation monitoring at ITN. In Actas do 10<sup>th</sup> International Symposium on Radiation Physics, Coimbra (Portugal), Setembro 2006.

Alves J.G., Novais L., Rangel S., Calado A. (2006b). Testes para a implementação da dosimetria ambiental com detectores termoluminescentes individuais. *Relatório Interno*, Novembro 2006.

Alves J.G., Novais L., Rangel S., Flores E. (2006c). Quality assurance and quality control programme in use at the individual monitoring service of ITN-DPRSN. In Actas do 2<sup>nd</sup> European IRPA Congress, Paris (França), Maio 2006

Alves J.G., Abrantes J.N., Margo O., Rangel S., Santos L. (2006d). Long-Term Stability of a TLD-Based Individual Monitoring System. *Radiat. Prot. Dosim.* 120, 1-4, 289-292.

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-Garcia A., González-Gomes C., López-Peñalver J.J., El Bardouni T. (2003). Seasonal <sup>7</sup>Be Concentrations in Near-Surface Air of Granada (Spain) in the Period 1993-2001, *Applied Radiation and Isotopes*, **59**, 159-164.

Baeza A., Garcia E., Miró C., Rodriguez A., Sequeira M.M. (2005) Behaviour of Tritium in the Waters of the River Tagus. *Fusion Science and Technology*, Vol 48, Nº 1, 488-491.

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 <sup>137</sup>Cs et de <sup>7</sup>Be 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 <sup>7</sup>Be 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. 11<sup>o</sup> 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, 27<sup>th</sup> July 2000.

Dueñas C., Fernández M.C., Carretero J., Liger E., Cañete S. (2003).  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  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 n°140, 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, n°1.

Ioannidou A., Manolopoulou, M., Papastefanou C. (2005). Temporal Changes of  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  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, n°26/2003, 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, n°28/2004, 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, n°29/2005, ISBN 972-8660-30-8. Depósito Legal 194022/03.



Madruga M.J., Carvalho F.P, Reis M., Pinhão N., Alves, J.H., Sequeira M.M., Ferrador G., Gameiro M.A., Oliveira J.M, Libânio A., Pereira M. A., Silva, G., Lopes I., Abrantes J., Silva L., Machado L., Gomes A.R., Lemos A.S., Oliveira E., Rodrigues F., Carvalhal G., Fonseca H., Novais L. (2006). Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2005). Relatório DPRSN, Série A, nº30/2006, ISBN 972-8660-31-6. Depósito Legal 194022/03.

Madruga M.J., Lemos S., Machado L. (2007). Determinação de Actividade de Estrôncio-90 em Leites. Avaliação da Dose de Radiação para a População Portuguesa. In: Um Futuro Sustentável, Ambiente, Sociedade e Desenvolvimento, Editores C. Borrego et al, Vol.1, 141-147, ISBN 978-972-789-230-3.

Madruga M.J., Sequeira M.M., Lopes I., Gomes A.R., Rodrigues F. (2007). Radiocésio, Radioestrôncio e Trítio em Águas de Superfície nos Rios Tejo e Zêzere. In: Um Futuro Sustentável, Ambiente, Sociedade e Desenvolvimento, Editores C. Borrego et al, Vol.2, 624-630, ISBN 978-972-789-230-3.

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.

O'Keeffe M., Rehmann F-J., Coen K (2006). National Food Residue Database. Report 2006. ISBN 1 84170 462 3.

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).

Pietrzak-Flis Z., Kaminska I., Chrzanowski E. (2005). Uranium Isotopes in Public Drinking Water and Dose Assessment for Man in Poland. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 113, nº1, 34-39.

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.

RIFE-11 (2006). Radioactivity in Food and the Environment, 2005. Environmental Agency, Environment and Heritage Service, Food Standards Agency, Scottish Environment Protection Agency.

Rodrigues F., Gomes A. R., Sequeira, M. M., Madruga M.J., Machado L. (2007). Medidas de Actividade Beta total e Beta Residual nos Rios Tejo e Zêzere (2001 a 2005). In: Um Futuro Sustentável, Ambiente, Sociedade e Desenvolvimento, Editores C. Borrego et al, Vol.4, 1516-1521, ISBN 978-972-789-230-3.

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

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

STUK-B-TKO6 (2005). Surveillance of Environmental Radiation in Finland, Annual Report 2004, R. Mustonen ed..

Todorovic D., Popovic D., Djuric G., Radenkovic M. (2005).  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  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 *et al.*, 2001; IRC Note nº50, 2002; Pham *et al.*, 2004; Shakhashiro *et al.*, 2005; González *et al.*, 2006; Watjen *et al.*, 2006). Estes exercícios são organizados por várias entidades, tais como, Organização Mundial de Saúde, Agência Internacional de Energia Atômica, União Europeia, etc., e consistem, basicamente, na análise de amostras de composição desconhecida, distribuídas aos laboratórios participantes.

Em 2006, no âmbito da rede ALMERA/IAEA participou-se num teste de aptidão laboratorial para a determinação de radionuclídeos emissores gama em amostras de solos, relva e água. Os resultados obtidos foram em geral aceitáveis (Shakhsahiro *et al.*, 2007).

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.

Shakhashiro A., Sansone U., Trinkl A., Makarewicz M., Yonezawa C., Kim C.K., Kis-Benedek G., Benesch T., Schorn R. (2007). Report on the IAEA-CU-2006-03 World-Wide Open Proficiency Teste on the Determination of Gamma Emitting Radionuclides. IAEA/AL/171, April 2007.

Watjen U., Szántó Zs., Altitzoglou T., Sibbens G., Keightley J., Hult M. (2006). EC intercomparison for laboratories monitoring environmental radioactivity. Appl. Radiat. Isot., 64, 1108-1113.