



MCTES - Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior

INSTITUTO TECNOLÓGICO E NUCLEAR

---

Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear

Relatório DPRSN-A, nº29/05

## Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2004)

M. José Madruga, M. Manuela Sequeira, Graciete Ferrador,  
M. Adelaide Gameiro, Mário Reis, Irene Lopes, Lídia Silva,  
Jorge Gouveia, Luís Ramos, Lubélia Machado, M. Amélia  
Pereira, M. Anjos Tavares, Fernando P. Carvalho, João M.  
Oliveira, Albertina Libânio

Dezembro 2005

---

---

Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear

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

**Ficha Técnica**

Título	<b>Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2004)</b>
Autoria	<i>Maria José Madruga, M. Manuela Sequeira, Graciete Ferrador, M. Adelaide Gameiro, Mário Reis, Irene Lopes, Lídia Silva, Jorge Gouveia, Luis Ramos, Lubélia Machado, M. Amélia Pereira, M. Anjos Tavares, Fernando P. Carvalho, João M. Oliveira, Albertina Libânio</i>
Edição	Instituto Tecnológico e Nuclear Dep. Protecção Radiológica e Segurança Nuclear
Tiragem	60 exemplares
ISBN	972-8660-30-8
Depósito Legal	194022/03
Data da Edição	Dezembro 2005
Responsável pela edição	M <sup>a</sup> Luísa Pedro

---

## Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2004)

*M. José Madruga, M. Manuela Sequeira, Graciete Ferrador, M. Adelaide Gameiro, Mário Reis, Irene Lopes, Lúdia Silva, Jorge Gouveia, Luís Ramos, Lubélia Machado, M. Amélia Pereira, M. Anjos Tavares, Fernando P. Carvalho, João M. Oliveira, Albertina Libânio*

### **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 2004, o programa de monitorização ambiental consistiu na determinação de radionuclidos 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. A actividade dos radionuclidos 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 radionuclidos de origem artificial ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^3\text{H}$ ) são muito baixas e, frequentemente, abaixo dos valores da actividade mínima detectável, com excepção do rio Tejo onde os valores em  $^3\text{H}$  indicam contaminação radioactiva, mas pouco significativa sob o ponto de vista radiológico. Os resultados obtidos para os radionuclidos de origem natural (elementos das séries radioactivas do urânio, tório e  $^{40}\text{K}$ ) são da ordem de grandeza do fundo radioactivo natural. Pode concluir-se que a população portuguesa residente não esteve exposta a níveis de contaminação radioactiva mais elevados que o fundo radioactivo natural, não sendo necessário recomendar qualquer medida de protecção radiológica.

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

### **Abstract**

In the framework of the EURATOM Treaty Article 35º, since several years ago the ITN's Department of Radiological Protection and Nuclear Safety (DPRSN) have performed a nacional environmental radiological survey. In 2004, the environmental monitoring programme consisted on measuring artificial and natural radionuclides in environmental compartments (atmospheric, aquatic and terrestrial environments) considered as direct pathways of contamination to man. In this context, samples of aerosols, rainwater, surface water, sediments, fish, aquatic plants, drinking water, mixed diet, complete meals, milk and soils were analysed. The activity of the artificial and natural radionuclides was determined using the gamma spectrometry, alpha spectrometry, alpha/beta measurements with proportional counter and beta measurement by liquid scintillation. As concentrações medidas para os radionuclidos de origem artificial ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^3\text{H}$ ) são muito baixas e, frequentemente, abaixo dos valores da actividade mínima detectável, com excepção do rio Tejo onde há sinais de contaminação radioactiva, mas pouco significativa. The concentrations for the artificial radionuclides ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^3\text{H}$ ) are, in general very low and, usually below the minimum detectable activity, with exception of the Tejo river, where the tritium values show a radioactive contamination with low significance. The results for natural radioactivity (uranium and thorium radioactive series and  $^{40}\text{K}$ ) are of the same order of magnitude of the radioactive background. It can be conclude that the portuguese population was not exposed to radioactive contamination levels higher than the radioactive background. Therefore, there is no need to adopt any recommendation for radiological protection.

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



## **1. INTRODUÇÃO**

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

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

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

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

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

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

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

A radioactividade existente na atmosfera pode ter origem natural ou artificial e resulta, basicamente, de três fontes principais: i) exalação para a atmosfera de  $^{222}\text{Rn}$  e  $^{220}\text{Rn}$ , formados através da desintegração radioactiva do  $^{226}\text{Ra}$  e do  $^{224}\text{Ra}$  (constituintes naturais de solos e rochas) pertencentes às séries radioactivas naturais do urânio e do tório, respectivamente. Um bom exemplo é o  $^{210}\text{Pb}$ , 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 no âmbito da protecção contra radiações, uma vez que essas partículas participam nos processos de transporte e deposição atmosférica, interagindo com a biosfera.

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

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

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

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

Nas Figuras 2 e 3 estão representados graficamente os números de amostras e de análises e respectivas percentagens referentes ao ano de 2004.

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

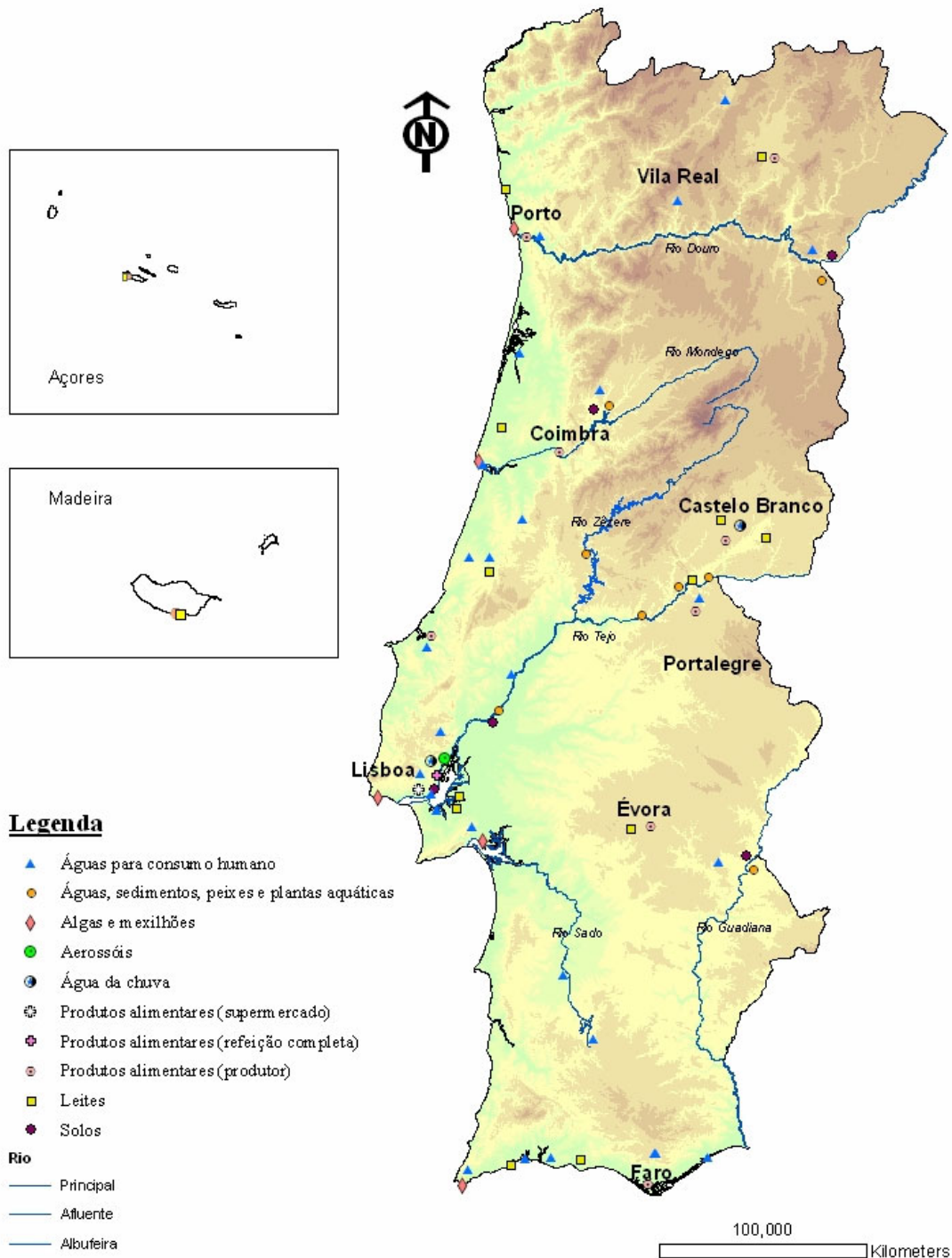


Figura 1 – Locais de amostragem e tipo de amostras analisadas no programa de monitorização ambiental da radioactividade



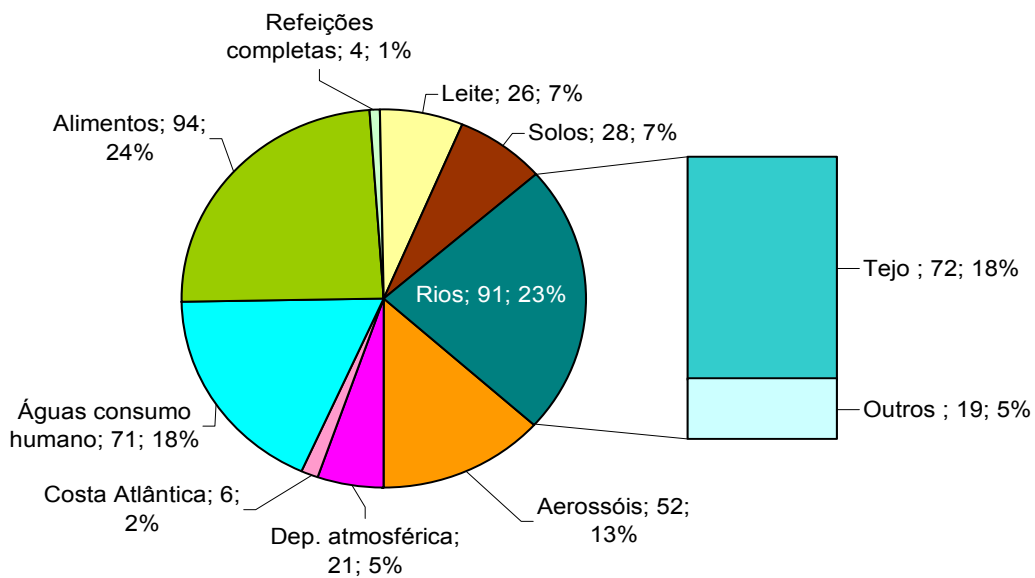


Figura 2- Número de amostras analisadas

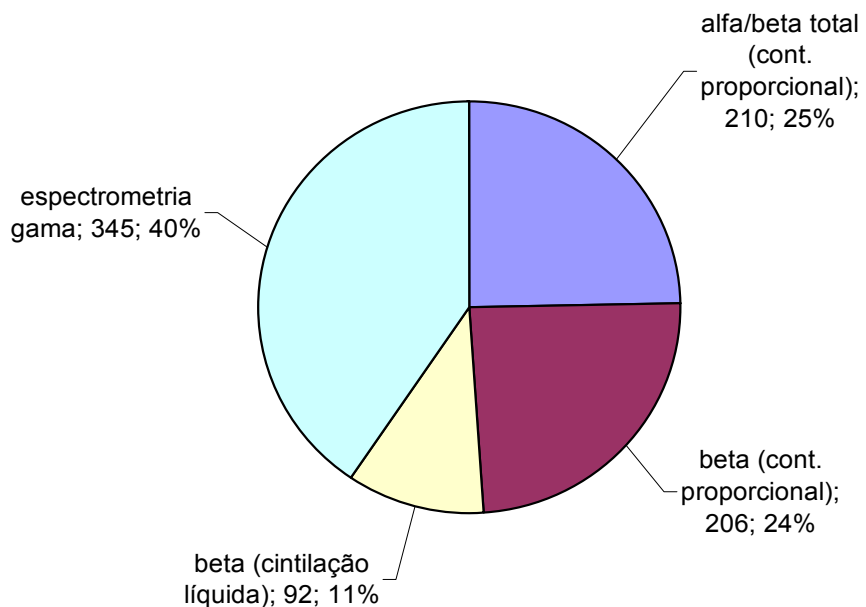


Figura 3- Número de análises por técnica de medição

## 2. RADIOACTIVIDADE NA ATMOSFERA

### 2.1. Aerossóis

#### 2.1.1. Material e Métodos

A avaliação da radioactividade atmosférica no ar de superfície foi efectuada através da amostragem contínua de aerossol, recorrendo a uma estação fixa do tipo ASS-500, instalada no *campus* do ITN em Sacavém (Figura 1). A estação está equipada com uma bomba de sucção de alto volume (com um débito de  $800 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , em média) 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 média, a um volume de ar filtrado de cerca de  $100000 \text{ m}^3/\text{semana}$ . Como substrato de recolha são utilizados filtros de polipropileno tipo G-3, de  $44 \times 44 \text{ cm}^2$ .

Após cada período de amostragem, os filtros foram incinerados a  $450^\circ\text{C}$  durante 24 horas, sendo a amostra resultante analisada por espectrometria gama em detector de poço de Ge hiperpuro (modelo Canberra GCW2522). O referido detector tem um volume activo de  $140 \text{ cm}^3$  e uma resolução de  $1,08 \text{ keV}$  na energia de  $122 \text{ keV}$  e  $1,83 \text{ keV}$  na energia de  $1333 \text{ keV}$ . Os espectros resultantes são analisados através do software SAMPO 90. O sistema foi calibrado com fontes padrão, preparadas a partir de uma solução de emissores gama QCY 48 (Amersham) e de uma solução de  $^{210}\text{Pb}$  (Amersham), com matriz e geometria idênticas às das amostras a analisar.

#### 2.1.2. Resultados e Discussão

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

A concentração média mensal de partículas totais em suspensão (PTS) variou entre  $26 \mu\text{g m}^{-3}$  (em Fevereiro) e  $99 \mu\text{g m}^{-3}$  (em Dezembro).

A actividade média mensal em  $^7\text{Be}$ , variou entre  $1,23 \pm 0,04$  e  $7,2 \pm 0,2 \text{ mBq m}^{-3}$ , com um valor médio anual de  $4,0 \pm 1,5 \text{ mBq m}^{-3}$ , característico das latitudes médias. A actividade volúmica média medida em Sacavém encontra-se dentro da gama de valores referidos por outros autores para diferentes locais (C. Dueñas *et al.*, 2003; P. Bouisset *et al.*, 2004; J.S. Gaffney *et al.*, 2004; F. Cannizzaro *et al.*, 2004; D. Todorovic *et al.*, 2005; Calvo *et al.*, 2005). À semelhança dos anos anteriores, os valores mais elevados ocorreram nos meses de Primavera e Verão, altura do ano favorável à intrusão, na troposfera, de massas de ar de origem estratosférica, portadoras de aerossóis enriquecidos em  $^7\text{Be}$ . Esta mesma tendência sazonal é referida por outros autores (M. Azahra *et al.*, 2003; A. Ioannidou *et al.*, 2005). É interessante referir o valor registado no mês de Dezembro ( $7,2 \pm 0,2 \text{ mBq m}^{-3}$ ),

significativamente mais elevado que os valores obtidos para este mês em anos anteriores. Este facto deve-se, provavelmente, à fraca precipitação ocorrida em Novembro e Dezembro de 2004 (26 mm), comparativamente a anos anteriores (132 e 94 mm respectivamente em Novembro e Dezembro de 2003) e, conseqüentemente, à menor deposição de partículas por via húmida que geralmente se verifica nesta época do ano (registou-se uma concentração de partículas totais em suspensão de  $99 \mu\text{g m}^{-3}$ ).

A actividade em  $^{137}\text{Cs}$  foi sempre inferior à actividade mínima detectável ( $0,50 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ), à excepção do mês de Abril, em que se registou um valor de  $0,82 \pm 0,18 \mu\text{Bq m}^{-3}$ .

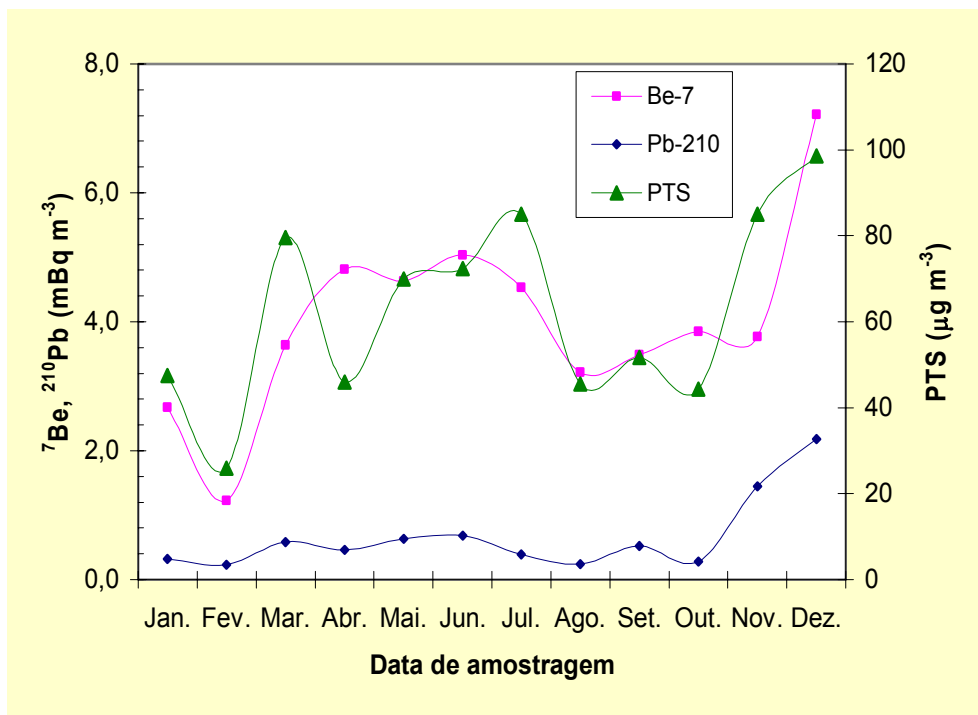
Relativamente ao  $^{210}\text{Pb}$  a sua actividade média mensal variou entre  $0,230 \pm 0,005 \text{ mBq m}^{-3}$  e  $2,18 \pm 0,04 \text{ mBq m}^{-3}$ , com um valor médio anual de  $0,7 \pm 0,6 \text{ mBq m}^{-3}$ . Os valores anormalmente elevados para os meses de Novembro e Dezembro devem-se provavelmente aos baixos valores de precipitação, cerca de 21% inferiores aos valores médios de 1961-90 (Instituto de Meteorologia, 2004), registados durante esses dois meses (meses muito secos a extremamente secos).

Com base nas recomendações da Comissão Internacional de Protecção Radiológica (ICRP, 1996), aplicáveis a membros do público cujo modo de vida, hábitos alimentares e metabolismo correspondem a uma população média, estimou-se a dose de radiação devida à inalação de  $^{137}\text{Cs}$  durante o ano de 2004. Considerou-se o valor de actividade em  $^{137}\text{Cs}$  de  $0,5 \mu\text{Bq m}^{-3}$  (actividade mínima detectável) e o respectivo factor de dose  $4,6 \times 10^{-9} \text{ Sv Bq}^{-1}$  (Basic Safety Standards, 1996; ICRP, 1996) aplicável a um adulto médio para a categoria de membro do público. Considerou-se ainda, uma taxa de respiração média de  $8030 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$  (EUR 19929 EN, 2001 & EUR 20765 EN, 2005). O valor de dose estimado devido à inalação do  $^{137}\text{Cs}$  é de  $0,019 \times 10^{-3} \mu\text{Sv a}^{-1}$ . Este valor que pela metodologia seguida, está sobrestimado, é idêntico ao obtido em anos anteriores usando a mesma metodologia (Madruga *et al*, 2003 & 2004).

**Tabela 1- Valores de radioactividade (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 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
Janeiro	2,7 $\pm$ 0,1	< 0,50 (a)	0,32 $\pm$ 0,01	48
Fevereiro	1,23 $\pm$ 0,04	< 0,50 (a)	0,23 $\pm$ 0,01	26
Março	3,6 $\pm$ 0,1	< 0,50 (a)	0,58 $\pm$ 0,01	80
Abril	4,8 $\pm$ 0,2	0,82 $\pm$ 0,18	0,46 $\pm$ 0,01	46
Mai	4,6 $\pm$ 0,1	< 0,50 (a)	0,63 $\pm$ 0,01	70
Junho	5,0 $\pm$ 0,2	< 0,50 (a)	0,68 $\pm$ 0,02	72
Julho	4,5 $\pm$ 0,1	< 0,50 (a)	0,40 $\pm$ 0,01	85
Agosto	3,2 $\pm$ 0,1	< 0,50 (a)	0,24 $\pm$ 0,01	46
Setembro	3,5 $\pm$ 0,1	< 0,50 (a)	0,52 $\pm$ 0,01	52
Outubro	3,8 $\pm$ 0,1	< 0,50 (a)	0,28 $\pm$ 0,01	44
Novembro	3,8 $\pm$ 0,1	< 0,50 (a)	1,45 $\pm$ 0,04	85
Dezembro	7,2 $\pm$ 0,2	< 0,50 (a)	2,18 $\pm$ 0,04	99
<b>Média <math>\pm \sigma</math> (n=12)</b>	<b>4,0 <math>\pm</math> 1,5</b>	<b>-</b>	<b>0,7 <math>\pm</math> 0,6</b>	<b>63 <math>\pm</math> 22</b>

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



**Figura 4- Evolução da radioactividade 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. 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 (> 0,45µm) e na matéria dissolvida (≤ 0,45µm) e, no 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 na matéria dissolvida.

Para a análise por espectrometria gama foi usada a geometria “Marinelli” e detectores de GeHp, acoplados a sistemas de aquisição de dados Ortec, Accuspec A (Canberra). Os dados foram processados usando *software* Sampo 90 e Genie 2000 (Canberra). Os sistemas foram calibrados com fontes padrão, preparadas a partir de uma solução de emissores gama QCY 48 (Amersham) e de uma solução de <sup>210</sup>Pb (Amersham), com matriz e geometria idênticas às das amostras a analisar. A técnica seguida para a medição beta foi a da Norma Portuguesa NP 4330 (1996). Para a medição da actividade beta total das amostras utilizou-se um contador proporcional de fluxo gasoso α/ β (TENNELEC, Canberra), previamente calibrado com padrões beta (<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 da Beckman, modelo LS 6500. 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 EICHROM e o <sup>137</sup>Cs em fosfomolibdato de amónio. As amostras foram medidas no sistema beta de baixo fundo, RISO, com detectores Geiger-Müller de fluxo gasoso, 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 das actividades dos diferentes radionuclídeos 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). É de referir que os valores de actividade em trítio medidos na água da chuva, na estação de Castelo Branco, são mais elevados relativamente ao ano anterior (em 2003 os valores foram sempre inferiores à actividade mínima detectável).

Nas Tabelas 4 e 5 apresentam-se os fluxos mensais de deposição atmosférica para Sacavém e Castelo Branco, respectivamente. Os fluxos apresentados foram calculados com base na determinação da actividade dos vários isótopos em amostras de água da chuva e correspondem a valores de deposição total (por via húmida e seca), uma vez que os colectores se encontram expostos durante todo o período de amostragem, mesmo na ausência de precipitação. Nas Figuras 5 e 6 estão representados graficamente os valores dos fluxos mensais de deposição atmosférica em  $^7\text{Be}$  e beta total e os valores de precipitação em Sacavém e em Castelo Branco respectivamente.

Pode-se observar que os fluxos mensais de deposição em  $^7\text{Be}$  e a actividade beta total, em ambas as estações, seguem a evolução da precipitação ao longo do ano. Verifica-se, no entanto, uma excepção para a deposição em  $^7\text{Be}$  no mês de Setembro em Sacavém, onde o valor mais elevado é resultante não da quantidade de precipitação mas do valor mais elevado da actividade em  $^7\text{Be}$  medido na água da chuva. Uma possível explicação é que apesar da precipitação registada no mês de Setembro não ser elevada terá contribuído para o arrastamento das partículas acumuladas na atmosfera nos meses de verão.

A deposição acumulada ao longo do ano de 2004 é manifestamente inferior à verificada no ano de 2003 para ambas as estações (à excepção do trítio na estação de Castelo Branco). Este facto não é de estranhar uma vez que a precipitação acumulada ao longo do ano de 2004 foi das mais baixas de sempre (inferior à média da série de anos 1961-90). Daí a importância de referir o elevado valor de deposição total obtido para o trítio na estação de Castelo Branco ( $2344 \text{ Bq m}^{-2}$ ), apesar da precipitação acumulada em 2004 (509 mm) ser cerca de metade da acumulada em 2003 (1033 mm).

Os coeficientes de correlação entre os fluxos de deposição total e a quantidade de precipitação para o  $^7\text{Be}$  e o  $^3\text{H}$  foram, respectivamente, 0,77 e 0,94 para Castelo Branco e 0,53 e 0,78 para Sacavém. A tendência de coeficientes de correlação mais elevados para a estação de Castelo Branco mantém-se, relativamente a anos anteriores, o que pode indicar um maior contributo da deposição por via seca (para o fluxo de deposição total) na estação de Sacavém.

**Tabela 2 - Valores de radioactividade (Bq L<sup>-1</sup> ± 2σ) em água da chuva colhida em Sacavém (ITN)**

Data de Colheita	Matéria dissolvida ≤ 0,45 μm					Matéria suspensão > 0,45 μm
	<sup>3</sup> H	<sup>7</sup> Be	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	Beta total	Beta total
<b>Janeiro</b>	1,8 ± 0,5	0,22 ± 0,02	< 0,50 x 10 <sup>-3</sup> (d)	< 0,60 x 10 <sup>-3</sup> (e)	0,012 ± 0,004	0,070 ± 0,006
<b>Fevereiro</b>	< 0,80 (c)	0,19 ± 0,01	< 0,50 x 10 <sup>-3</sup> (d)	< 0,60 x 10 <sup>-3</sup> (e)	0,014 ± 0,004	0,081 ± 0,006
<b>Março</b>	4,8 ± 0,7	0,07 ± 0,02	< 0,50 x 10 <sup>-3</sup> (d)	< 0,60 x 10 <sup>-3</sup> (e)	0,057 ± 0,006	0,084 ± 0,006
<b>Abril</b>	4,1 ± 0,7	< 0,12 (f)	(b)	(b)	0,011 ± 0,004	0,074 ± 0,006
<b>Mai</b>	2,3 ± 0,6	< 0,05 (f)	(b)	(b)	0,021 ± 0,004	0,072 ± 0,006
<b>Junho</b>	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
<b>Julho</b>	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
<b>Agosto</b>	4,2 ± 0,7	< 0,11 (f)	< 0,50 x 10 <sup>-3</sup> (d)	< 0,60 x 10 <sup>-3</sup> (e)	0,019 ± 0,005	0,070 ± 0,006
<b>Setembro</b>	2,3 ± 0,6	1,64 ± 0,07	< 0,50 x 10 <sup>-3</sup> (d)	< 0,60 x 10 <sup>-3</sup> (e)	0,123 ± 0,007	0,070 ± 0,006
<b>Outubro</b>	< 0,80 (c)	0,40 ± 0,02	(3,3 ± 1,3) x 10 <sup>-3</sup>	(g)	0,033 ± 0,005	0,087 ± 0,006
<b>Novembro</b>	6,5 ± 0,8	0,14 ± 0,03	< 0,50 x 10 <sup>-3</sup> (d)	(1,0 ± 0,5) x 10 <sup>-3</sup>	0,023 ± 0,004	0,075 ± 0,006
<b>Dezembro</b>	4,1 ± 0,7	0,06 ± 0,01	(1,0 ± 0,4) x 10 <sup>-3</sup>	(1,0 ± 0,4) x 10 <sup>-3</sup>	0,009 ± 0,004	0,080 ± 0,006

- (a) Não houve precipitação  
 (b) Volume de amostra insuficiente para as análises de <sup>90</sup>Sr e <sup>137</sup>Cs  
 (c) Actividade mínima detectável em <sup>3</sup>H  
 (d) Actividade mínima detectável em <sup>90</sup>Sr  
 (e) Actividade mínima detectável em <sup>137</sup>Cs  
 (f) Actividade mínima detectável em <sup>7</sup>Be. Este valor depende das condições de medição.  
 (g) Amostra perdida durante a análise

Tabela 3 - Valores de radioactividade ((Bq L<sup>-1</sup> ± 2σ) em água da chuva colhida em Castelo Branco (estação meteorológica)

Data de Colheita	Matéria dissolvida ≤ 0,45 μm					Matéria suspensão > 0,45 μm
	<sup>3</sup> H	<sup>7</sup> Be	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	Beta total	Beta total
<b>Janeiro</b>	< 0,80 (c)	0,52 ± 0,08	(3,4 ± 2,7) x 10 <sup>-3</sup>	(1,9 ± 0,7) x 10 <sup>-3</sup>	0,089 ± 0,004	0,083 ± 0,006
<b>Fevereiro</b>	< 0,80 (c)	0,31 ± 0,02	(4,6 ± 1,5) x 10 <sup>-3</sup>	(2,3 ± 0,8) x 10 <sup>-3</sup>	0,141 ± 0,004	0,068 ± 0,006
<b>Março</b>	7,9 ± 0,8	0,21 ± 0,01	(2,3 ± 0,7) x 10 <sup>-3</sup>	(1,50 ± 0,7) x 10 <sup>-3</sup>	0,011 ± 0,004	0,110 ± 0,007
<b>Abril</b>	4,6 ± 0,7	0,12 ± 0,01	(1,3 ± 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,60 x10 <sup>-3</sup> (e)	0,088 ± 0,004	0,062 ± 0,006
<b>Mai</b>	5,6 ± 0,7	0,04 ± 0,01	< 0,50 x 10 <sup>-3</sup> (d)	< 0,60 x10 <sup>-3</sup> (e)	0,029 ± 0,005	0,084 ± 0,006
<b>Junho</b>	< 0,80 (c)	0,10 ± 0,02	< 0,50 x 10 <sup>-3</sup> (d)	< 0,60 x10 <sup>-3</sup> (e)	0,013 ± 0,004	0,072 ± 0,006
<b>Julho</b>	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
<b>Agosto</b>	5,3 ± 0,7	0,16 ± 0,03	(b)	(b)	0,200± 0,005	0,074 ± 0,006
<b>Setembro</b>	< 0,80 (c)	0,07 ± 0,03	(b)	(b)	0,029 ± 0,005	0,075 ± 0,006
<b>Outubro</b>	4,9 ± 0,7	0,08 ± 0,01	< 0,50 x 10 <sup>-3</sup> (d)	< 0,60 x10 <sup>-3</sup> (e)	0,011 ± 0,004	0,088 ± 0,006
<b>Novembro</b>	7,7 ± 0,8	0,18 ± 0,01	(0,9 ± 0,4) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,60 x10 <sup>-3</sup> (e)	0,012 ± 0,004	0,078 ± 0,006
<b>Dezembro</b>	< 0,80 (c)	0,12 ± 0,01	< 0,50 x 10 <sup>-3</sup> (d)	< 0,60 x10 <sup>-3</sup> (e)	0,028 ± 0,005	0,072 ± 0,006

- (a) Não houve precipitação  
 (b) Volume de amostra insuficiente para as análises de <sup>90</sup>Sr e <sup>137</sup>Cs  
 (c) Actividade mínima detectável em <sup>3</sup>H  
 (d) Actividade mínima detectável em <sup>90</sup>Sr  
 (e) Actividade mínima detectável em <sup>137</sup>Cs



Tabela 4 - Deposição atmosférica ( $\text{Bq m}^{-2}$ ) em Sacavém (ITN)

Data de colheita	Precipitação (mm)*	Matéria dissolvida					Matéria suspensão	
		$\leq 0,45 \mu\text{m}$					$> 0,45 \mu\text{m}$	
		$^3\text{H}$	$^7\text{Be}$		$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	Beta total	Beta total
<b>Janeiro</b>	150	$270 \pm 75$	$33 \pm 3$		(a)	(a)	$1,8 \pm 0,6$	$10,5 \pm 0,9$
<b>Fevereiro</b>	46	(a)	$8,7 \pm 0,5$		(a)	(a)	$0,6 \pm 0,2$	$3,7 \pm 0,3$
<b>Março</b>	43	$206 \pm 30$	$3,0 \pm 0,9$		(a)	(a)	$2,4 \pm 0,3$	$3,6 \pm 0,3$
<b>Abril</b>	39	$160 \pm 27$	(a)		(b)	(b)	$0,4 \pm 0,2$	$2,9 \pm 0,2$
<b>Maió</b>	20	$45 \pm 12$	(a)		(b)	(b)	$0,4 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,1$
<b>Junho</b>	0	(c)	(c)		(c)	(c)	(c)	(c)
<b>Julho</b>	0	(c)	(c)		(c)	(c)	(c)	(c)
<b>Agosto</b>	25	$104 \pm 18$	(a)		(a)	(a)	$0,5 \pm 0,1$	$1,8 \pm 0,2$
<b>Setembro</b>	30	$70 \pm 18$	$49 \pm 2$		(a)	(a)	$3,7 \pm 0,2$	$2,1 \pm 0,2$
<b>Outubro</b>	115	(a)	$46 \pm 2$		$0,38 \pm 0,15$	(d)	$3,8 \pm 0,6$	$10,0 \pm 0,7$
<b>Novembro</b>	26	$168 \pm 21$	$3,6 \pm 0,8$		(a)	$0,03 \pm 0,01$	$0,6 \pm 0,1$	$2,0 \pm 0,2$
<b>Dezembro</b>	26	$107 \pm 18$	$1,6 \pm 0,3$		$0,03 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$	$0,2 \pm 0,1$	$2,1 \pm 0,2$

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

(b) Volume de amostra insuficiente para análise

(c) Não houve precipitação

(d) Amostra perdida durante a análise

\* Dados obtidos no Instituto de Meteorologia

Tabela 5 - Deposição atmosférica (Bq m<sup>-2</sup>) em Castelo Branco (estação meteorológica)

Data de colheita	Precipitação (mm)*	Matéria dissolvida ≤ 0,45 µm					Matéria suspensão > 0,45 µm
		<sup>3</sup> H	<sup>7</sup> Be	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	Beta total	Beta total
Janeiro	24	(a)	12 ± 2	0,08 ± 0,06	0,05 ± 0,02	2,1 ± 0,1	2,0 ± 0,1
Fevereiro	60	(a)	19 ± 1	0,28 ± 0,09	0,14 ± 0,05	8,5 ± 0,2	4,1 ± 0,4
Março	89	703 ± 71	19 ± 1	0,20 ± 0,06	0,13 ± 0,06	1,0 ± 0,4	9,8 ± 0,6
Abril	34	156 ± 24	4,1 ± 0,3	0,04 ± 0,02	(a)	3,0 ± 0,1	2,1 ± 0,2
Mai	28	157 ± 20	1,0 ± 0,2	(a)	(a)	0,8 ± 0,1	2,4 ± 0,2
Junho	23	(a)	2,3 ± 0,5	(a)	(a)	0,3 ± 0,1	1,7 ± 0,1
Julho	0	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)
Agosto	11	58 ± 8	1,8 ± 0,3	(b)	(b)	2,2 ± 0,1	0,81 ± 0,07
Setembro	12	(a)	0,8 ± 0,4	(b)	(b)	0,3 ± 0,1	0,90 ± 0,07
Outubro	95	446 ± 66	8 ± 1	(a)	(a)	1,0 ± 0,4	8,4 ± 0,6
Novembro	107	824 ± 86	19 ± 1	0,10 ± 0,04	(a)	1,3 ± 0,4	8,3 ± 0,6
Dezembro	26	(a)	3,1 ± 0,3	(a)	(a)	0,7 ± 0,1	1,9 ± 0,2

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

(b) Volume de amostra insuficiente para análise

(c) Não houve precipitação

\* Dados obtidos no Instituto de Meteorologia

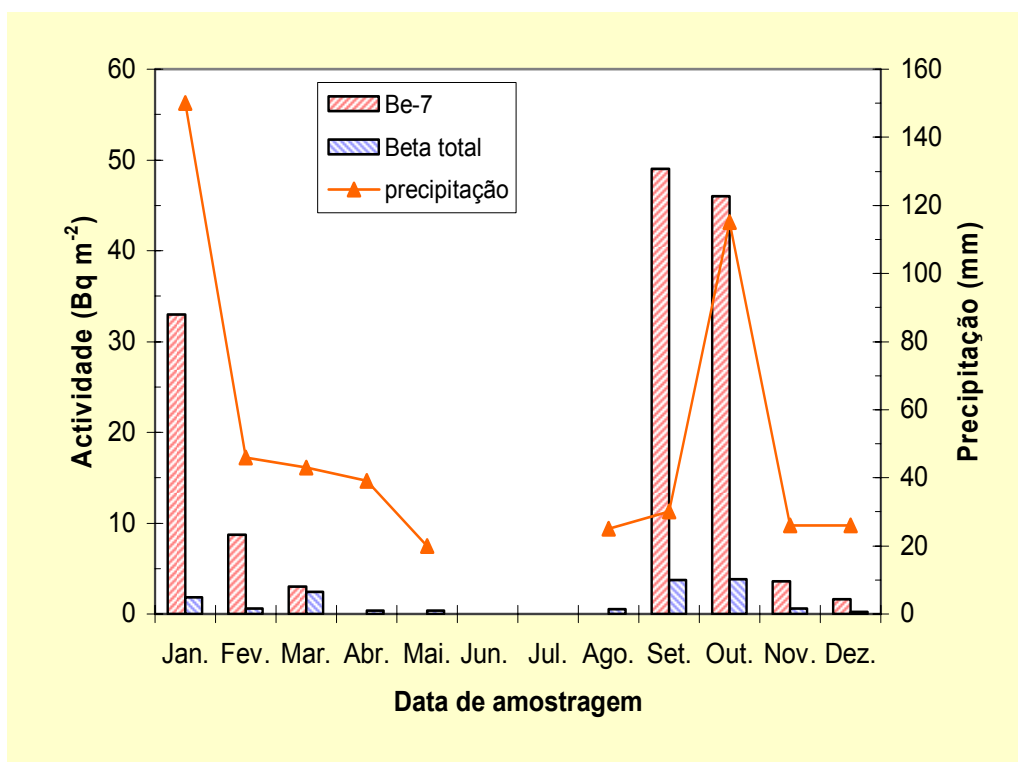


Figura 5 - Evolução dos fluxos mensais de deposição atmosférica em <sup>7</sup>Be e beta total em Sacavém

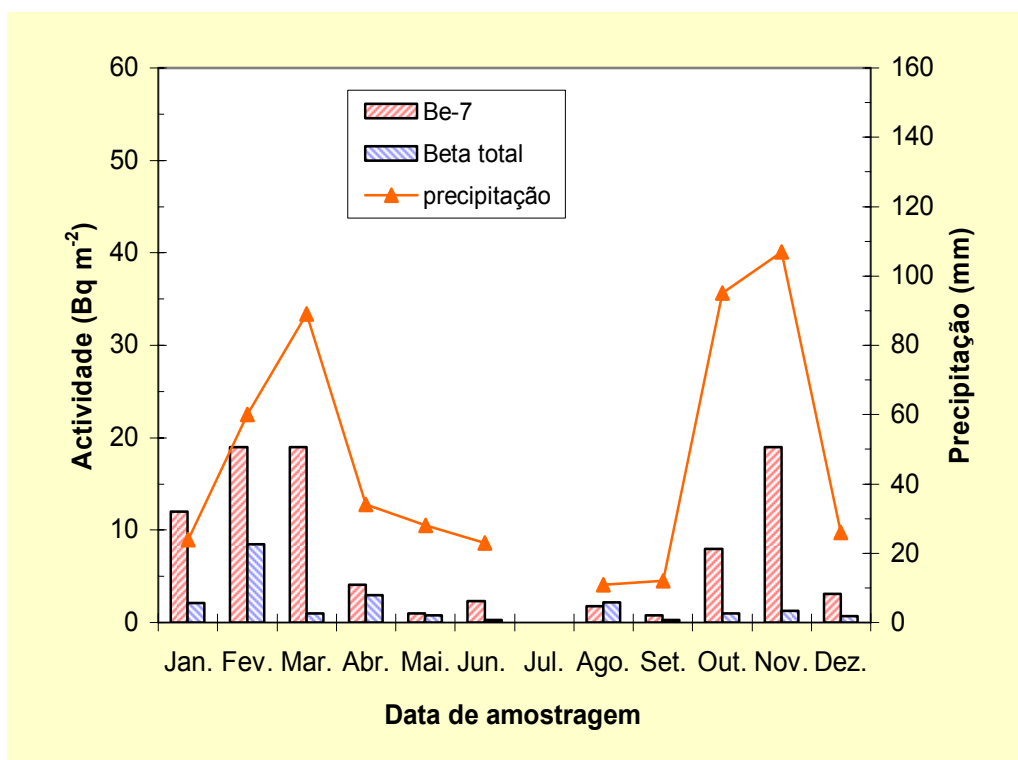


Figura 6 - Evolução dos fluxos mensais de deposição atmosférica em <sup>7</sup>Be e beta total em Castelo Branco

### **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.

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 Aguieira) e Guadiana (Barragem do Alqueva) procedeu-se a uma amostragem anual. Os locais de amostragem estão representados na Figura 1.

##### **Águas**

Nas amostras de água determinou-se o teor da matéria em suspensão ( $> 0,45\mu\text{m}$ ) e da matéria dissolvida ( $\leq 0,45\mu\text{m}$ ) e efectuou-se a respectiva medição de radioactividade beta total. Nesta última fracção fizeram-se também as determinações de actividade em  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^3\text{H}$ , por métodos radioquímicos, seguidos de medição beta total, conforme descrito em 2.2.1.

##### **Sedimentos**

No laboratório, os sedimentos foram secos a  $110^\circ\text{C}$ , desagregados e separados nas fracções sedimento total (é considerado sedimento total a fracção de diâmetro  $\leq 1000\mu\text{m}$  do total da amostra recolhida), fracção areia ( $250\mu\text{m} \geq \varnothing > 63\mu\text{m}$ ) e fracção silte/argila ( $\leq 63\mu\text{m}$ ). Foram preparadas amostras representativas destas fracções e, posteriormente, determinada a sua actividade por espectrometria gama, usando os detectores de GeHp, os sistemas de análise e as calibrações, já referidos em 2.2.1.

##### **Peixes**

No laboratório, os peixes (Barbus Bocagei L., Carpas L., Bogas L.) foram medidos, pesados individualmente e dissecados. O músculo foi seco a  $110^\circ\text{C}$  e incinerado a  $450^\circ\text{C}$ , sendo determinado previamente o peso fresco e depois os pesos seco e de cinzas. O total da amostra incinerada (cinzas) foi medido por espectrometria gama usando os detectores de GeHp e os sistemas de análise e calibrações, já referidos em 2.2.1.

### 3.1.2. Resultados e Discussão

#### Águas

Os valores das medidas de radioactividade 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 os valores de beta total na matéria em suspensão e na matéria dissolvida não variam durante o ano e são semelhantes, ao longo do rio. Os valores médios variam entre  $0,07 \pm 0,01 \text{ Bq L}^{-1}$  em V. Velha de Ródão e  $0,08 \pm 0,01 \text{ Bq L}^{-1}$  em Valada, para a matéria em suspensão, e entre  $0,13 \pm 0,02 \text{ Bq L}^{-1}$  e  $0,11 \pm 0,01 \text{ Bq L}^{-1}$ , para a matéria dissolvida, em V. Velha de Ródão e Valada respectivamente (Tabelas 6 e 7). Em geral, os valores obtidos para as actividades em  $^{137}\text{Cs}$  mantêm-se relativamente constantes, ao longo do ano, com um valor médio inferior a  $1,2 \times 10^{-3} \text{ Bq L}^{-1}$  em V. Velha de Ródão e Valada (Tabelas 6 e 7). Para o  $^{90}\text{Sr}$  os valores obtidos são também relativamente constantes, ao longo do ano, com excepção do valor obtido em V. Velha de Ródão no mês de Maio ( $4,4 \pm 2,0$ )  $\times 10^{-3} \text{ Bq L}^{-1}$  e em Valada, no mês de Fevereiro ( $5,2 \pm 3,2$ )  $\times 10^{-3} \text{ Bq L}^{-1}$  (Figura 7). Apesar disso, em ambas as estações de amostragem, os valores médios anuais para o  $^{90}\text{Sr}$  são semelhantes (Tabelas 6 e 7). Os valores de radioactividade em águas de superfície colhidas nas Barragens de Fratel e Belver são da mesma ordem de grandeza dos obtidos em V. Velha de Ródão e Valada (Tabelas 8 e 9), com excepção do valor obtido para o  $^{90}\text{Sr}$  nas Barragens de Fratel e Belver no mês de Março (Tabela 8, Figura 7). Os valores de actividade em  $^3\text{H}$  no rio Tejo variam entre  $9,1 \pm 3,8 \text{ Bq L}^{-1}$ , valor médio anual em V. Velha de Ródão e  $5,7 \pm 2,3 \text{ Bq L}^{-1}$ , valor médio anual em Valada (Tabelas 6 e 7). Na Barragem de Fratel, os valores em  $^3\text{H}$  variam entre  $3,8 \pm 0,8 \text{ Bq L}^{-1}$  e  $8,2 \pm 1,2 \text{ Bq L}^{-1}$  (Tabela 8) e na Barragem de Belver, entre  $3,0 \pm 0,8 \text{ Bq L}^{-1}$  e  $10,3 \pm 1,2 \text{ Bq L}^{-1}$  (Tabela 9).

Na Tabela 10 estão expressos os valores das medições de radioactividade 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 na matéria em suspensão ( $0,07 \pm 0,01 \text{ Bq L}^{-1}$ ) é semelhante ao obtido para o rio Tejo, enquanto que para a matéria dissolvida esse valor é inferior ( $0,03 \pm 0,01 \text{ Bq L}^{-1}$ ). Este resultado está relacionado com a concentração da matéria dissolvida ( $\text{mg L}^{-1}$ ) que no caso do rio Zêzere é cerca de cinco vezes inferior à obtida para o rio Tejo. Verifica-se que os valores de actividade em  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  são inferiores aos obtidos para o rio Tejo, sendo essa diferença mais acentuada para o  $^{137}\text{Cs}$ . No rio Zêzere os valores obtidos para o  $^{90}\text{Sr}$ , ao longo do ano, apresentam uma menor variação quando comparados com os obtidos para o rio Tejo (Figura 7).

No que se refere à actividade em  $^3\text{H}$ , os valores obtidos para o rio Zêzere são inferiores aos obtidos para o rio Tejo situando-se, em geral, abaixo do valor da actividade mínima detectável ( $0,8 \text{ Bq L}^{-1}$ ). Na Figura 8 estão representados os valores mensais da concentração em  $^3\text{H}$  para os rios Tejo (V. Velha de Ródão Barragem de Fratel, Barragem de Belver e Valada) e Zêzere (Barragem de Castelo de Bode). Pode observar-se uma grande variação nas concentrações em  $^3\text{H}$  no rio Tejo, ao longo do ano, com um acréscimo mais acentuado em V. Velha de Ródão, nos meses de Julho, Setembro e Outubro. O decréscimo da actividade em  $^3\text{H}$  desde V. Velha de Ródão até Valada, pode ser atribuído à diluição do trítio na água ao longo do rio. Este mesmo comportamento tem-se vindo a verificar-se ao longo dos anos (Sequeira *et al.*, 2000 & 2002; Madruga *et al.*, 2003 & 2004)

Os valores observados para os radionuclidos analisados nos rios Tejo e Zêzere são da mesma ordem de grandeza dos obtidos em anos anteriores (Sequeira *et al.*, 2000 & 2002; Madruga *et al.*, 2003 & 2004).

Em geral, os valores obtidos para a actividade em  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^3\text{H}$  no rio Tejo em Portugal são inferiores aos observados no troço do rio Tejo em Espanha (Baeza *et al.*, 2002, Calvo *et al.*, 2005).

Na Tabela 11 estão expressos os valores das medidas de radioactividade 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, em geral, os valores obtidos para os radionuclidos analisados, principalmente para o  $^3\text{H}$ , são inferiores aos observados para o rio Tejo, o que denota a influência da Central Nuclear de Almaraz (Espanha) no rio Tejo, nomeadamente em V. Velha de Ródão.

Tabela 6 - Valores de radioactividade ( $\text{Bq L}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em água de superfície colhida no rio Tejo (V. Velha de Ródão)

Data de colheita	Matéria em suspensão > 0,45 $\mu\text{m}$		Matéria dissolvida $\leq 0,45\mu\text{m}$				
	Concentração $\text{mg L}^{-1}$	Beta total	Concentração $\text{mg L}^{-1}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^3\text{H}$	Beta total
<b>Janeiro</b>	4,2	0,06 $\pm$ 0,01	299,2	(1,5 $\pm$ 0,5) $\times 10^{-3}$	(2,0 $\pm$ 1,9) $\times 10^{-3}$	9,0 $\pm$ 1,4	0,13 $\pm$ 0,01
<b>Fevereiro</b>	4,6	0,08 $\pm$ 0,01	389,8	< 0,6 $\times 10^{-3}$ (a)	(1,7 $\pm$ 0,6) $\times 10^{-3}$	4,8 $\pm$ 0,6	0,17 $\pm$ 0,01
<b>Março</b>	1,6	0,08 $\pm$ 0,01	279,0	(1,1 $\pm$ 0,6) $\times 10^{-3}$	(2,3 $\pm$ 0,6) $\times 10^{-3}$	3,5 $\pm$ 0,7	0,12 $\pm$ 0,01
<b>Abril</b>	1,7	0,08 $\pm$ 0,01	295,7	(1,5 $\pm$ 0,5) $\times 10^{-3}$	(1,7 $\pm$ 0,6) $\times 10^{-3}$	10,8 $\pm$ 1,3	0,14 $\pm$ 0,01
<b>Mai</b>	2,3	0,07 $\pm$ 0,01	288,2	(1,3 $\pm$ 0,6) $\times 10^{-3}$	(4,4 $\pm$ 2,0) $\times 10^{-3}$	11,1 $\pm$ 1,3	0,11 $\pm$ 0,01
<b>Junho</b>	0,2	0,07 $\pm$ 0,01	283,5	< 0,6 $\times 10^{-3}$ (a)	(1,3 $\pm$ 0,3) $\times 10^{-3}$	7,8 $\pm$ 1,4	0,12 $\pm$ 0,01
<b>Julho</b>	1,4	0,05 $\pm$ 0,01	287,7	(0,8 $\pm$ 0,7) $\times 10^{-3}$	(1,2 $\pm$ 0,3) $\times 10^{-3}$	13,7 $\pm$ 1,3	0,12 $\pm$ 0,01
<b>Agosto</b>	2,2	0,08 $\pm$ 0,01	318,9	(2,2 $\pm$ 1,8) $\times 10^{-3}$	(2,5 $\pm$ 0,4) $\times 10^{-3}$	6,4 $\pm$ 1,4	0,12 $\pm$ 0,01
<b>Setembro</b>	6,6	0,07 $\pm$ 0,01	338,6	(2,4 $\pm$ 1,7) $\times 10^{-3}$	(3,0 $\pm$ 0,4) $\times 10^{-3}$	15,8 $\pm$ 1,3	0,14 $\pm$ 0,01
<b>Outubro</b>	2,2	0,08 $\pm$ 0,01	382,2	< 0,6 $\times 10^{-3}$ (a)	(2,2 $\pm$ 0,4) $\times 10^{-3}$	12,6 $\pm$ 1,2	0,11 $\pm$ 0,01
<b>Novembro</b>	2,3	0,08 $\pm$ 0,01	230,7	(0,7 $\pm$ 0,5) $\times 10^{-3}$	(1,9 $\pm$ 0,4) $\times 10^{-3}$	7,2 $\pm$ 1,1	0,13 $\pm$ 0,01
<b>Dezembro</b>	4,9	0,07 $\pm$ 0,01	257,7	< 0,6 $\times 10^{-3}$ (a)	(1,4 $\pm$ 0,4) $\times 10^{-3}$	6,2 $\pm$ 1,4	0,12 $\pm$ 0,01
<b>Média <math>\pm \sigma</math></b> (n=12)	2,8 $\pm$ 1,8	0,07 $\pm$ 0,01	304,3 $\pm$ 46,8	< 1,2 $\times 10^{-3}$	(2,1 $\pm$ 0,8) $\times 10^{-3}$	9,1 $\pm$ 3,8	0,13 $\pm$ 0,02

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

Tabela 7 - Valores de radioactividade ( $\text{Bq L}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em água de superfície colhida no rio Tejo (Valada do Ribatejo)

Data de colheita	Matéria em suspensão > 0,45 $\mu\text{m}$		Matéria dissolvida $\leq 0,45\mu\text{m}$				
	Concentração $\text{mg L}^{-1}$	Beta total	Concentração $\text{mg L}^{-1}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^3\text{H}$	Beta total
<b>Janeiro</b>	7,1	$0,07 \pm 0,01$	181,1	$(1,1 \pm 0,7) \times 10^{-3}$	$(2,2 \pm 0,7) \times 10^{-3}$	$1,0 \pm 0,3$	$0,09 \pm 0,01$
<b>Fevereiro</b>	8,4	$0,10 \pm 0,01$	279,5	$(2,8 \pm 0,9) \times 10^{-3}$	$(5,2 \pm 3,2) \times 10^{-3}$	$2,0 \pm 0,6$	$0,12 \pm 0,01$
<b>Março</b>	11,1	$0,08 \pm 0,01$	242,7	$(1,6 \pm 0,7) \times 10^{-3}$	$(3,1 \pm 1,6) \times 10^{-3}$	$6,0 \pm 1,0$	$0,10 \pm 0,01$
<b>Abril</b>	3,6	$0,07 \pm 0,01$	247,9	$(1,4 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	$< 0,5 \times 10^{-3}(\text{b})$	$5,0 \pm 1,0$	$0,11 \pm 0,01$
<b>Maiο</b>	7,5	$0,08 \pm 0,01$	253,0	$< 0,6 \times 10^{-3}(\text{a})$	$(1,8 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$6,2 \pm 1,0$	$0,11 \pm 0,01$
<b>Junho</b>	1,0	$0,07 \pm 0,01$	326,1	$(0,8 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$(1,4 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$8,6 \pm 1,2$	$0,12 \pm 0,01$
<b>Julho</b>	3,7	$0,06 \pm 0,01$	282,0	$< 0,6 \times 10^{-3}(\text{a})$	$(2,2 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$8,7 \pm 1,2$	$0,13 \pm 0,01$
<b>Agosto</b>	2,1	$0,08 \pm 0,01$	292,7	$< 0,6 \times 10^{-3}(\text{a})$	$(2,3 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$5,2 \pm 1,0$	$0,11 \pm 0,01$
<b>Setembro</b>	6,3	$0,08 \pm 0,01$	282,2	$< 0,6 \times 10^{-3}(\text{a})$	$(2,3 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$5,1 \pm 1,0$	$0,10 \pm 0,01$
<b>Outubro</b>	5,4	$0,08 \pm 0,01$	262,2	(c)	$(2,2 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$7,8 \pm 1,1$	$0,10 \pm 0,01$
<b>Novembro</b>	4,8	$0,09 \pm 0,01$	232,1	(c)	$(2,7 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$6,9 \pm 1,1$	$0,12 \pm 0,01$
<b>Dezembro</b>	4,9	$0,08 \pm 0,01$	257,7	$(1,5 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$(0,6 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$6,3 \pm 1,1$	$0,14 \pm 0,01$
<b>Média <math>\pm \sigma</math></b>	$5,5 \pm 2,8$ (n=12)	$0,08 \pm 0,01$ (n=12)	$261,6 \pm 36,0$ (n=12)	$< 1,2 \times 10^{-3}$ (n=10)	$< 2,2 \times 10^{-3}$ (n=12)	$5,7 \pm 2,3$ (n=12)	$0,11 \pm 0,01$ (n=12)

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

(c) Amostra perdida durante a análise



**Tabela 8 - Valores de radioactividade (Bq L<sup>-1</sup> ± 2σ) em água de superfície colhida no rio Tejo (Barragem de Fratel)**

Data de colheita	Matéria em suspensão > 0,45μm		Matéria dissolvida ≤ 0,45μm				
	Concentração mg L <sup>-1</sup>	Beta total	Concentração mg L <sup>-1</sup>	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>3</sup> H	Beta total
<b>Março</b>	2,6	0,07 ± 0,01	242,7	(1,2 ± 0,7) x 10 <sup>-3</sup>	(9,3 ± 3,1) x 10 <sup>-3</sup>	7,4 ± 1,4	0,07 ± 0,01
<b>Mai</b>	4,7	0,07 ± 0,01	267,8	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (a)	(3,7 ± 0,5) x 10 <sup>-3</sup>	5,4 ± 1,4	0,11 ± 0,01
<b>Agosto</b>	4,5	0,08 ± 0,01	313,7	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (a)	(1,5 ± 0,4) x 10 <sup>-3</sup>	8,2 ± 1,2	0,13 ± 0,01
<b>Novembro</b>	1,0	0,08 ± 0,01	221,3	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (a)	(2,9 ± 0,9) x 10 <sup>-3</sup>	3,8 ± 0,8	0,13 ± 0,01

**Tabela 9 - Valores de radioactividade (Bq L<sup>-1</sup> ± 2σ) em água de superfície colhida no rio Tejo (Barragem de Belver)**

Data de colheita	Matéria em suspensão > 0,45μm		Matéria dissolvida ≤ 0,45μm				
	Concentração mg L <sup>-1</sup>	Beta total	Concentração mg L <sup>-1</sup>	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>3</sup> H	Beta total
<b>Março</b>	1,1	0,07 ± 0,01	293,4	(1,4 ± 0,7) x 10 <sup>-3</sup>	(5,7 ± 1,4) x 10 <sup>-3</sup>	5,7 ± 0,6	0,14 ± 0,01
<b>Mai</b>	1,7	0,07 ± 0,01	276,2	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (a)	(1,8 ± 0,5) x 10 <sup>-3</sup>	5,2 ± 1,0	0,11 ± 0,01
<b>Agosto</b>	3,4	0,08 ± 0,06	326,2	(1,7 ± 0,5) x 10 <sup>-3</sup>	(3,3 ± 1,2) x 10 <sup>-3</sup>	10,3 ± 1,2	0,11 ± 0,01
<b>Novembro</b>	1,8	0,08 ± 0,06	233,7	(b)	(2,5 ± 0,4) x 10 <sup>-3</sup>	3,0 ± 0,8	0,13 ± 0,01

(a) Actividade mínima detectável em <sup>137</sup>Cs

(b) Amostra perdida durante a análise

Tabela 10 - Valores de radioactividade ( $\text{Bq L}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em água de superfície colhida no rio Zêzere (Barragem de Castelo de Bode)

Data de colheita	Matéria em suspensão > 0,45 $\mu\text{m}$		Matéria dissolvida $\leq 0,45\mu\text{m}$				
	Concentração $\text{mg L}^{-1}$	Beta total	Concentração $\text{mg L}^{-1}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^3\text{H}$	Beta total
<b>Janeiro</b>	2,9	0,06 $\pm$ 0,01	54,4	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (a)	(1,1 $\pm$ 0,7) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,8 (b)	0,04 $\pm$ 0,01
<b>Fevereiro</b>	0,2	0,07 $\pm$ 0,01	45,3	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (a)	(2,1 $\pm$ 0,5) x 10 <sup>-3</sup>	1,0 $\pm$ 0,6	0,04 $\pm$ 0,01
<b>Março</b>	0,2	0,07 $\pm$ 0,01	51,2	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (a)	(2,1 $\pm$ 0,9) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,8 (b)	0,03 $\pm$ 0,01
<b>Abril</b>	3,1	0,07 $\pm$ 0,01	40,2	(0,8 $\pm$ 0,7) x 10 <sup>-3</sup>	(1,6 $\pm$ 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,8 (b)	0,03 $\pm$ 0,01
<b>Mai</b>	2,5	0,07 $\pm$ 0,01	47,6	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (a)	(2,6 $\pm$ 1,2) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,8 (b)	0,02 $\pm$ 0,01
<b>Junho</b>	3,4	0,07 $\pm$ 0,01	61,4	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (a)	(2,2 $\pm$ 0,5) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,8 (b)	0,03 $\pm$ 0,01
<b>Julho</b>	0,6	0,08 $\pm$ 0,01	41,8	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (a)	(1,6 $\pm$ 0,8) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,8 (b)	0,03 $\pm$ 0,01
<b>Agosto</b>	1,5	0,07 $\pm$ 0,01	38,9	(1,0 $\pm$ 0,5) x 10 <sup>-3</sup>	(1,1 $\pm$ 0,7) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,8 (b)	0,03 $\pm$ 0,01
<b>Setembro</b>	3,1	0,07 $\pm$ 0,01	47,7	< 0,6 x 10 <sup>-3</sup> (a)	(2,4 $\pm$ 0,8) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,8 (b)	0,03 $\pm$ 0,01
<b>Outubro</b>	1,9	0,09 $\pm$ 0,01	51,9	(0,9 $\pm$ 0,5) x 10 <sup>-3</sup>	(1,4 $\pm$ 0,7) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,8 (b)	0,04 $\pm$ 0,01
<b>Novembro</b>	1,0	0,08 $\pm$ 0,01	45,7	(1,7 $\pm$ 0,9) x 10 <sup>-3</sup>	(1,2 $\pm$ 0,9) x 10 <sup>-3</sup>	2,4 $\pm$ 0,6	0,03 $\pm$ 0,01
<b>Dezembro</b>	1,3	0,07 $\pm$ 0,01	42,4	(0,7 $\pm$ 0,6) x 10 <sup>-3</sup>	(1,7 $\pm$ 0,9) x 10 <sup>-3</sup>	< 0,8 (b)	0,06 $\pm$ 0,01
<b>Média <math>\pm</math> <math>\sigma</math> (n=12)</b>	1,8 $\pm$ 1,2	0,07 $\pm$ 0,01	47,4 $\pm$ 6,5	< 0,8 x 10 <sup>-3</sup>	(1,8 $\pm$ 0,5) x 10 <sup>-3</sup>	< 1,0	0,03 $\pm$ 0,01

(a) Actividade mínima detectável em  $^{137}\text{Cs}$ ; (b) Actividade mínima detectável em  $^3\text{H}$

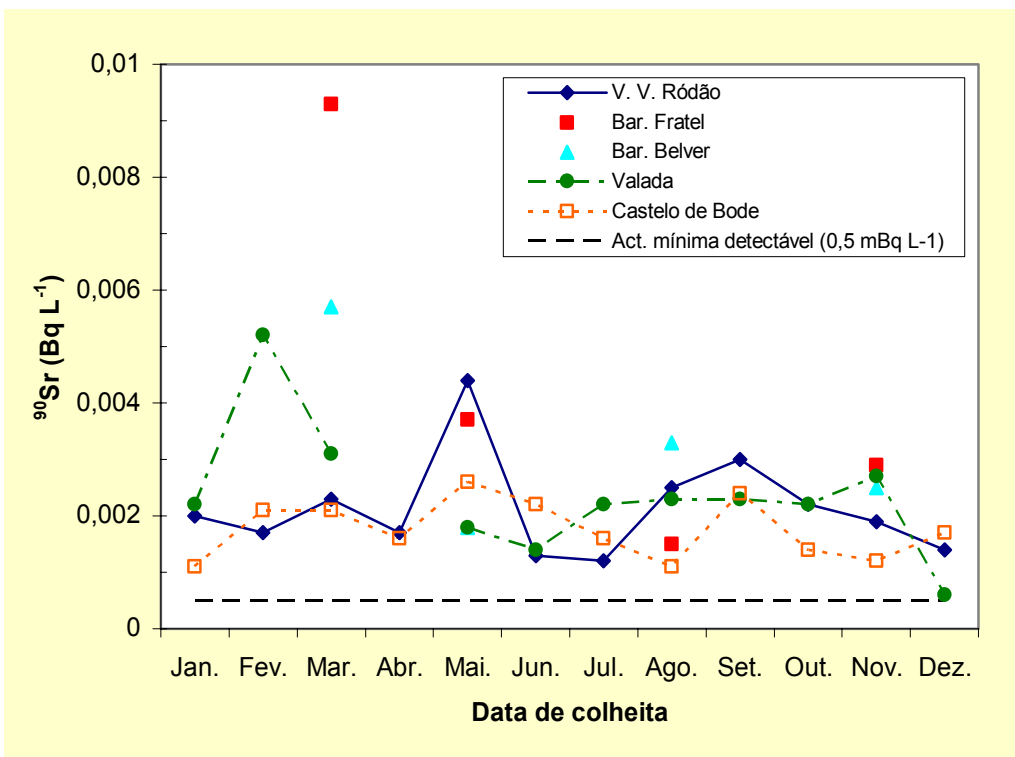


Figura 7 - Variação da concentração em  $^{90}\text{Sr}$  (Bq L $^{-1}$ ) nos rios Tejo e Zêzere

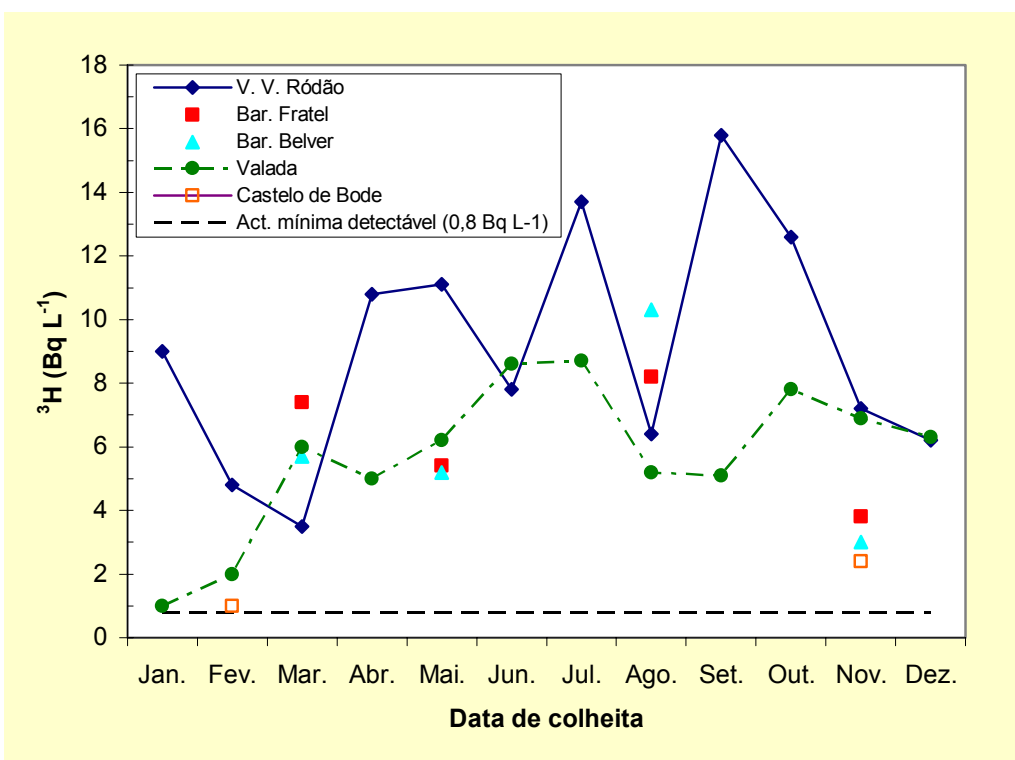


Figura 8 - Variação da concentração em  $^3\text{H}$  (Bq L $^{-1}$ ) nos rios Tejo e Zêzere

**Tabela 11 - Valores de radioactividade ( $\text{Bq L}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em água de superfície colhidas no rio Guadiana (Barragem de Alqueva), no rio Mondego ( Barragem da Aguieira) e no rio Douro (Barragem do Pocinho)**

Local de Amostragem	Matéria em suspensão $> 0,45\mu\text{m}$		Matéria dissolvida $\leq 0,45\mu\text{m}$				
	Concentração $\text{mg L}^{-1}$	Beta total	Concentração $\text{mg L}^{-1}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^3\text{H}$	Beta total
<b>Rio Guadiana (Barragem de Alqueva)</b>	3,8	$0,07 \pm 0,01$	258,9	$(0,9 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$(2,5 \pm 0,8) \times 10^{-3}$	$4,4 \pm 1,2$	$0,16 \pm 0,01$
<b>Rio Mondego (Barragem da Aguieira)</b>	3,8	$0,07 \pm 0,01$	48,1	$(1,3 \pm 0,9) \times 10^{-3}$	$(2,7 \pm 0,7) \times 10^{-3}$	$< 0,8$ (b)	$0,056 \pm 0,001$
<b>Rio Douro (Barragem do Pocinho)</b>	9,2	$0,06 \pm 0,01$	211,5	$< 0,6 \times 10^{-3}$ (a)	$(3,6 \pm 0,7) \times 10^{-3}$	$< 0,8$ (b)	$0,09 \pm 0,01$

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

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

### **Sedimentos**

Nas Tabelas 12 a 23 estão expressos os valores das concentrações dos radionuclídeos detectados no sedimento total (é considerado sedimento total a fracção de diâmetro  $\leq 1000\mu\text{m}$  do total da amostra recolhida), na fracção areia ( $250\mu\text{m} \geq \varnothing > 63\mu\text{m}$ ) e na fracção silte/argila ( $\leq 63\mu\text{m}$ ) colhidos no rio Tejo, em V. Velha de Ródão, Valada, Barragens de Fratel e Belver. Verifica-se que, em geral, as concentrações dos elementos das famílias radioactivas naturais ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ) detectados em V. Velha de Ródão são mais elevadas do que em Valada. Isto, poder-se-á explicar pela origem geológica dos sedimentos que, no caso de V. Velha de Ródão, se situa na região granítica de Nisa, onde as concentrações dos radionuclídeos das famílias radioactivas naturais devem ser mais elevadas. Relativamente ao  $^{137}\text{Cs}$ , radionuclídeo de origem artificial, os valores medidos são também ligeiramente mais elevados em V. Velha de Ródão. Por exemplo, para o sedimento total obtiveram-se valores médios anuais de  $1,8 \pm 0,5 \text{ Bq kg}^{-1}$  em V. Velha de Ródão e valores inferiores a  $0,7 \text{ Bq kg}^{-1}$  em Valada. Para o  $^7\text{Be}$ , radionuclídeo de origem cosmogénica, os valores situam-se em geral, abaixo do valor da actividade mínima detectável. Os valores medidos para o  $^{40}\text{K}$ , radionuclídeo de origem natural, são relativamente constantes ao longo do rio, tendo-se obtido, para o sedimento total, valores médios anuais de  $964 \pm 66 \text{ Bq kg}^{-1}$  em V. Velha de Ródão e  $922 \pm 60 \text{ Bq kg}^{-1}$  em Valada.

Nas Figuras 9 a 12 e 13 a 16 estão representadas as variações das concentrações 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.

Observa-se, em geral, para todas as estações de amostragem um aumento na actividade dos radionuclídeos (naturais e artificiais) para a fracção silte/argila com excepção do  $^{40}\text{K}$ , cujo comportamento apresenta uma tendência inversa. O decréscimo da concentração em  $^{40}\text{K}$  para a fracção silte/argila poderá estar relacionado com a composição mineralógica desta fracção a qual é mais pobre em minerais que contêm potássio.

Nas Tabelas 24 a 26 estão expressos os valores das concentrações dos radionuclídeos (naturais e artificiais) detectados em sedimento totais, areia ( $250\mu\text{m} \geq \varnothing > 63\mu\text{m}$ ) e silte/argila ( $\leq 63\mu\text{m}$ ) colhidos nos rios Douro, Mondego e Guadiana. Pode observar-se uma tendência para o aumento da concentração dos radionuclídeos  $^{235}\text{U}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  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 radionuclídeos analisados em sedimentos dos rios Tejo, Douro, Mondego e Guadiana são da mesma ordem de grandeza dos obtidos em

anos anteriores (Sequeira *et al.*, 2000; Sequeira *et al.*, 2002; Madruga *et al.*, 2003; Madruga *et al.*, 2004).

### **Peixes**

Nas Tabelas 27 e 28 estão expressos os valores de actividade ( $\text{Bq kg}^{-1}$ , peso 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 inferiores à actividade mínima detectável com excepção do  $^{137}\text{Cs}$  medido em duas amostras (Abril e Dezembro) capturadas no rio Tejo. Estes valores são da mesma ordem de grandeza dos observados em anos anteriores em peixes capturados nos rios Tejo e Douro (Sequeira *et al.*, 2000 & 2002; Madruga *et al.*, 2003 & 2004).

Tabela 12 - Concentração radioactiva ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em sedimentos totais, colhidos no rio Tejo em Vila Velha de Ródão

Data de colheita	$^{235}\text{U}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
Janeiro	$4,1 \pm 1,4$	$107 \pm 4$	$58 \pm 3$	$1,3 \pm 0,2$	$1028 \pm 45$	< 16 (a)
Fevereiro	$3,6 \pm 0,2$	$39 \pm 1$	$26 \pm 1$	$1,3 \pm 0,2$	$1106 \pm 12$	< 3 (a)
Março	$3,9 \pm 0,9$	$96 \pm 3$	$53 \pm 2$	$1,3 \pm 0,2$	$1015 \pm 44$	< 12 (a)
Abril	$4,9 \pm 0,9$	$122 \pm 1$	$66 \pm 1$	$1,8 \pm 0,1$	$941 \pm 9$	< 4 (a)
Maio	$4,6 \pm 0,2$	$62 \pm 6$	$40 \pm 1$	$1,9 \pm 0,1$	$942 \pm 47$	< 2 (a)
Junho	< 1 (a)	$150 \pm 1$	$81 \pm 1$	$1,3 \pm 0,1$	$932 \pm 10$	< 4 (a)
Julho	$2,7 \pm 0,8$	$63 \pm 1$	$44 \pm 1$	$2,2 \pm 0,1$	$980 \pm 11$	< 4 (a)
Agosto	$4,7 \pm 0,8$	$120 \pm 1$	$67 \pm 1$	$2,3 \pm 0,1$	$987 \pm 11$	< 4 (a)
Setembro	< 1 (a)	$101 \pm 1$	$59 \pm 1$	$2,9 \pm 0,1$	$947 \pm 9$	< 4 (a)
Outubro	$5,1 \pm 0,3$	$73 \pm 1$	$45 \pm 1$	$1,9 \pm 0,1$	$951 \pm 10$	< 3 (a)
Novembro	< 3 (a)	$53 \pm 2$	$37 \pm 1$	$1,7 \pm 0,3$	$894 \pm 40$	< 8 (a)
Dezembro	< 3 (a)	$51 \pm 2$	$35 \pm 2$	$1,5 \pm 0,4$	$851 \pm 52$	< 2 (a)
Média $\pm \sigma$ n=12	< 3,5	$86 \pm 34$	$51 \pm 16$	$1,8 \pm 0,5$	$964 \pm 66$	-

Tabela 13 - Concentração radioactiva ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em areia ( $250 \mu\text{m} \geq \varnothing > 63 \mu\text{m}$ ) colhida no rio Tejo, em Vila Velha de Ródão

Data de colheita	$^{235}\text{U}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
Janeiro	< 30 (a)	$345 \pm 7$	$159 \pm 3$	$1,3 \pm 0,3$	$908 \pm 17$	$37 \pm 11$
Fevereiro	$8,3 \pm 0,1$	$259 \pm 5$	$124 \pm 3$	$1,4 \pm 0,3$	$901 \pm 17$	< 30 (a)
Março	$6,9 \pm 1,3$	$201 \pm 2$	$102 \pm 2$	$1,9 \pm 0,2$	$910 \pm 16$	< 5 (a)
Abril	$8,7 \pm 1,4$	$259 \pm 4$	$133 \pm 4$	$1,6 \pm 0,2$	$869 \pm 17$	< 7 (a)
Maio	$4,2 \pm 1,1$	$152 \pm 3$	$79 \pm 2$	$2,3 \pm 0,1$	$890 \pm 17$	< 57 (a)
Junho	$15 \pm 2$	$547 \pm 11$	$254 \pm 11$	$1,12 \pm 0,04$	$816 \pm 16$	$24 \pm 9$
Julho	$6,7 \pm 1,2$	$142 \pm 2$	$81 \pm 2$	$2,8 \pm 0,2$	$746 \pm 18$	< 5 (a)
Agosto	$15 \pm 2$	$455 \pm 1$	$222 \pm 3$	$2,5 \pm 0,2$	$810 \pm 15$	< 7 (a)
Setembro	$8,9 \pm 1,3$	$244 \pm 2$	$127 \pm 2$	$2,6 \pm 0,2$	$740 \pm 13$	< 6 (a)
Outubro	$5,2 \pm 1,9$	$155 \pm 2$	$84 \pm 4$	$1,8 \pm 0,2$	$802 \pm 15$	$8,9 \pm 3,2$
Novembro	$5,2 \pm 1,8$	$103 \pm 2$	$55 \pm 1$	$2,0 \pm 0,3$	$684 \pm 27$	< 7 (a)
Dezembro	< 3 (a)	$117 \pm 4$	$58 \pm 2$	$2,4 \pm 0,6$	$670 \pm 46$	< 3 (a)
Média $\pm \sigma$ n=12	< 9,8	$248 \pm 139$	$123 \pm 62$	$2,0 \pm 0,5$	$812 \pm 86$	< 16

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

**Tabela 14 - Concentração radioactiva ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em silte/argila (fracção  $\varnothing \leq 63 \mu\text{m}$ ) colhidos no rio Tejo, em Vila Velha de Ródão**

Data de colheita	$^{235}\text{U}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
Janeiro	< 3 (a)	244 ± 5	149 ± 5	5,4 ± 1,1	777 ± 39	< 20 (a)
Fevereiro	< 3 (a)	277 ± 5	166 ± 5	6,4 ± 0,9	695 ± 34	< 19 (a)
Março	< 3 (a)	260 ± 5	148 ± 5	8,5 ± 1,1	746 ± 37	< 22 (a)
Abril	23±4	639 ± 13	340 ± 10	5,5 ± 1,2	677 ± 34	< 27 (a)
Maio	17±4	364 ± 7	204 ± 6	4,5 ± 0,6	540 ± 27	< 22 (a)
Junho	< 3 (a)	171 ± 3	100 ± 3	5,8 ± 0,9	690 ± 34	< 18 (a)
Julho	14 ± 2	278 ± 4	190 ± 11	7,4 ± 0,4	665 ± 20	20 ± 2
Agosto	< 3 (a)	331 ± 6	182 ± 5	8,8 ± 0,7	622 ± 31	< 24 (a)
Setembro	14 ± 2	314 ± 6	190 ± 6	7,3 ± 0,3	700 ± 21	17 ± 3
Outubro	< 4 (a)	396 ± 8	216 ± 6	5,2 ± 1,6	630 ± 38	< 24 (a)
Novembro	16 ± 6	223 ± 7	137 ± 5	5,5 ± 1,4	500 ± 48	< 7 (a)
Dezembro	17 ± 4	309 ± 6	193 ± 3	7,6 ± 0,8	723 ± 30	< 3 (a)
<b>Média ± <math>\sigma</math></b> n=12	< 10	317 ± 118	184 ± 59	6,5 ± 1,4	664 ± 80	< 19

**Tabela 15 - Concentração radioactiva ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em sedimentos totais, colhidos no rio Tejo, em Valada do Ribatejo**

Data de colheita	$^{235}\text{U}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
Janeiro	< 1 (a)	17 ± 1	14 ± 1	0,4 ± 0,1	923 ± 10	< 2 (a)
Fevereiro	< 1 (a)	44 ± 2	28 ± 1	0,7 ± 0,2	988 ± 43	< 9 (a)
Março	< 1 (a)	27 ± 1	19 ± 1	0,6 ± 0,1	887 ± 9	< 2 (a)
Abril	< 1 (a)	37 ± 1	29 ± 1	0,9 ± 0,1	879 ± 9	< 2 (a)
Maio	3,1 ± 0,2	36 ± 1	27 ± 1	1,2 ± 0,1	990 ± 11	< 3 (a)
Junho	< 1 (a)	27 ± 1	20 ± 1	0,5 ± 0,1	962 ± 10	< 2 (a)
Julho	< 1 (a)	31 ± 1	22 ± 1	0,8 ± 0,1	1010 ± 11	< 3 (a)
Agosto	< 1 (a)	14 ± 1	15 ± 1	< 0,3 (a)	931 ± 10	< 2 (a)
Setembro	< 1 (a)	14 ± 1	12 ± 1	< 0,3 (a)	926 ± 9	< 2 (a)
Outubro	< 2 (a)	23 ± 1	17 ± 1	< 0,3 (a)	797 ± 36	< 1 (a)
Novembro	< 5 (a)	31 ± 1	22 ± 1	1,5 ± 0,4	881 ± 54	< 3 (a)
Dezembro	< 4 (a)	25 ± 1	21 ± 1	1,5 ± 0,4	888 ± 54	< 2 (a)
<b>Média ± <math>\sigma</math></b> n=12	< 2	27 ± 9	20 ± 5	< 0,7	922 ± 60	-

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



**Tabela 16 - Concentração radioactiva ( $Bq\ kg^{-1} \pm 2\sigma$ ) em areia ( $250\ \mu m \geq \varnothing > 63\ \mu m$ ) colhida no rio Tejo, em Valada do Ribatejo**

Data de colheita	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
Janeiro	< 1 (a)	27 ± 1	20 ± 1	0,5 ± 0,1	962 ± 10	< 2 (a)
Fevereiro	< 1 (a)	73 ± 1	47 ± 1	0,7 ± 0,1	902 ± 10	< 2 (a)
Março	5,6 ± 0,3	75 ± 2	44 ± 1	0,6 ± 0,2	836 ± 17	< 4 (a)
Abril	< 1 (a)	148 ± 2	84 ± 2	0,9 ± 0,1	899 ± 16	< 4 (a)
Maio	6,9 ± 0,3	103 ± 1	60 ± 1	1,1 ± 0,1	837 ± 17	< 4 (a)
Junho	4,3 ± 0,3	56 ± 1	37 ± 1	0,9 ± 0,2	879 ± 18	< 4 (a)
Julho	< 1 (a)	81 ± 1	49 ± 1	0,8 ± 0,1	838 ± 15	< 4 (a)
Agosto	< 1 (a)	48 ± 1	32 ± 1	1,1 ± 0,2	901 ± 20	< 4 (a)
Setembro	< 1 (a)	27 ± 1	20 ± 1	1,5 ± 0,2	899 ± 10	< 2 (a)
Outubro	4,2 ± 1,7	155 ± 3	83 ± 1	1,0 ± 0,3	805 ± 28	< 2 (a)
Novembro	< 5 (a)	42 ± 2	29 ± 1	1,2 ± 0,4	766 ± 50	< 3 (a)
Dezembro	< 4 (a)	47 ± 1	29 ± 1	1,1 ± 0,3	798 ± 36	< 6 (a)
<b>Média ± <math>\sigma</math></b> n=12	< 3	73 ± 43	44 ± 22	1,0 ± 0,3	860 ± 56	-

**Tabela 17 - Concentração radioactiva ( $Bq\ kg^{-1} \pm 2\sigma$ ) em silte/argila (fracção  $\varnothing \leq 63\ \mu m$ ) colhidos no rio Tejo, em Valada do Ribatejo**

Data de colheita	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
Janeiro	< 3 (a)	135 ± 3	78 ± 3	2,8 ± 0,8	739 ± 34	< 20 (a)
Fevereiro	7,9 ± 1,5	171 ± 3	104 ± 3	5,7 ± 0,2	831 ± 21	< 6 (a)
Março	< 3 (a)	228 ± 5	133 ± 4	4,1 ± 0,9	835 ± 41	< 20 (a)
Abril	19 ± 1	220 ± 3	138 ± 2	2,1 ± 0,8	763 ± 30	< 17 (a)
Maio	< 3 (a)	164 ± 3	98 ± 3	3,6 ± 0,5	883 ± 35	< 17 (a)
Junho	9,5 ± 1,7	198 ± 3	121 ± 3	5,3 ± 0,3	927 ± 24	< 7 (a)
Julho	< 3 (a)	203 ± 4	116 ± 3	< 2 (a)	681 ± 34	< 18 (a)
Agosto	< 2 (a)	153 ± 3	90 ± 3	3,1 ± 0,6	799 ± 33	< 16 (a)
Setembro	< 3 (a)	122 ± 4	76 ± 3	4,3 ± 0,8	804 ± 36	< 17 (a)
Outubro	11 ± 1	113 ± 3	72 ± 2	4,9 ± 0,9	992 ± 39	< 17 (a)
Novembro	< 8 (a)	124 ± 4	71 ± 3	4,2 ± 0,8	619 ± 46	< 7 (a)
Dezembro	< 5 (a)	116 ± 2	72 ± 1	3,3 ± 0,5	664 ± 28	< 3 (a)
<b>Média ± <math>\sigma</math></b> n=12	< 6	162 ± 42	97 ± 25	3,8 ± 1,2	795 ± 110	-

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

Tabela 18 - Concentração radioactiva ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em sedimentos totais, colhidos no rio Tejo, na Barragem de Fratel

Data de colheita	$^{235}\text{U}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
Março	< 6 (a)	$30 \pm 1$	$34 \pm 1$	$3,1 \pm 0,1$	$953 \pm 10$	< 3 (a)
Maio	< 1 (a)	$101 \pm 3$	$54 \pm 2$	< 1 (a)	$972 \pm 41$	< 31 (a)
Agosto	< 1 (a)	$23 \pm 1$	$34 \pm 1$	$1,3 \pm 0,1$	$960 \pm 17$	< 3 (a)
Novembro	< 3 (a)	$20 \pm 1$	$25 \pm 1$	$1,9 \pm 0,2$	$853 \pm 4$	< 1 (a)

Tabela 19 - Concentração radioactiva ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em areia ( $250 \mu\text{m} \geq \varnothing > 63 \mu\text{m}$ ) colhida no rio Tejo, na Barragem de Fratel

Data de colheita	$^{235}\text{U}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
Março	< 1 (a)	$47 \pm 1$	$45 \pm 1$	$5,1 \pm 0,2$	$901 \pm 18$	$12 \pm 3$
Maio	$6,3 \pm 0,3$	$98 \pm 1$	$52 \pm 1$	< 0,5 (a)	$944 \pm 18$	< 5 (a)
Agosto	< 1 (a)	$45 \pm 1$	$52 \pm 1$	$3,5 \pm 0,1$	$938 \pm 19$	< 4 (a)
Novembro	< 2 (a)	$40 \pm 1$	$56 \pm 1$	$2,7 \pm 0,1$	$837 \pm 19$	< 4 (a)

Tabela 20 - Concentração radioactiva ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em silte/argila (fracção  $\varnothing \leq 63 \mu\text{m}$ ) colhidos no rio Tejo, na Barragem de Fratel

Data de colheita	$^{235}\text{U}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
Março	$7,2 \pm 1,3$	$79 \pm 1$	$74 \pm 5$	$11,4 \pm 0,3$	$803 \pm 16$	< 6 (a)
Maio	$6,9 \pm 1,3$	$227 \pm 5$	$119 \pm 3$	< 1 (a)	$975 \pm 19$	< 57 (a)
Agosto	< 1 (a)	$73 \pm 1$	$78 \pm 2$	$9,1 \pm 0,3$	$766 \pm 19$	< 6 (a)
Novembro	< 1 (a)	$74 \pm 1$	$72 \pm 1$	$3,8 \pm 0,1$	$782 \pm 19$	< 6 (a)

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

**Tabela 21 - Concentração radioactiva ( $Bq\ kg^{-1} \pm 2\sigma$ ) em sedimentos totais, colhidos no rio Tejo, na Barragem de Belver**

Data de colheita	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<b>Março</b>	< 1 (a)	33 ± 1	23 ± 1	0,7 ± 0,1	934 ± 9	< 3 (a)
<b>Maio</b>	4,2 ± 0,2	63 ± 1	36 ± 1	1,1 ± 0,1	916 ± 9	< 3 (a)
<b>Agosto</b>	< 1 (a)	33 ± 1	24 ± 1	< 1 (a)	894 ± 10	< 3 (a)
<b>Novembro</b>	< 3 (a)	65 ± 2	36 ± 1	1,6 ± 0,4	772 ± 46	< 6 (a)

**Tabela 22 - Concentração radioactiva ( $Bq\ kg^{-1} \pm 2\sigma$ ) em areia ( $250\ \mu m \geq \varnothing > 63\ \mu m$ ) colhida no rio Tejo, na Barragem de Belver**

Data de colheita	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<b>Março</b>	< 1 (a)	80 ± 2	48 ± 1	1,9 ± 0,2	899 ± 17	< 4 (a)
<b>Maio</b>	< 1 (a)	213 ± 4	107 ± 3	2,5 ± 0,2	860 ± 19	< 5(a)
<b>Agosto</b>	< 1 (a)	96 ± 2	55 ± 2	1,1 ± 0,1	901 ± 20	< 4 (a)
<b>Novembro</b>	< 9 (a)	217 ± 5	106 ± 2	3,4 ± 0,5	727 ± 28	< 2 (a)

**Tabela 23 - Concentração radioactiva ( $Bq\ kg^{-1} \pm 2\sigma$ ) em silte/argila (fracção  $\varnothing \leq 63\ \mu m$ ) colhidos no rio Tejo, na Barragem de Belver**

Data de colheita	$^{235}U$	$^{228}Ra$	$^{226}Ra$	$^{137}Cs$	$^{40}K$	$^7Be$
<b>Março</b>	< 3 (a)	125 ± 4	77 ± 2	7,2 ± 1,0	712 ± 36	< 18 (a)
<b>Maio</b>	14 ± 3	357 ± 7	197 ± 6	9,2 ± 0,9	733 ± 29	< 21 (a)
<b>Agosto</b>	16 ± 3	218 ± 5	100 ± 5	6,9 ± 1,3	780 ± 48	< 15 (a)
<b>Novembro</b>	31 ± 8	908 ± 24	489 ± 13	8,9 ± 1,9	724 ± 57	< 1 (a)

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

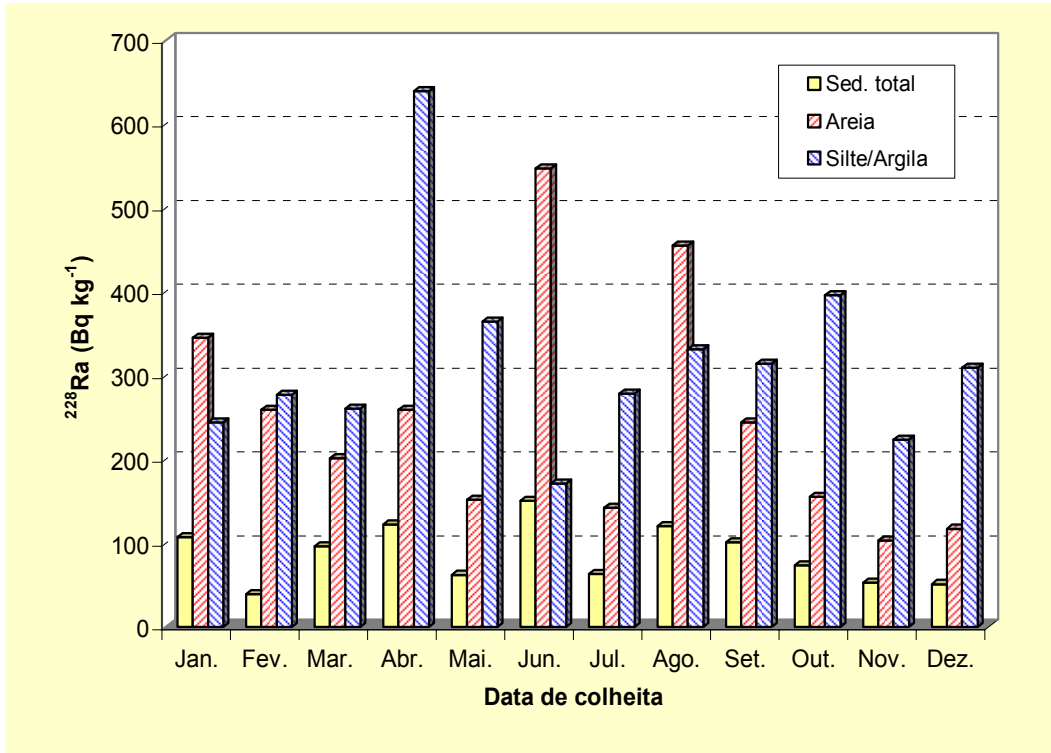


Figura 9 – Variação da concentração em  $^{228}\text{Ra}$  ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em V. Velha de Ródão

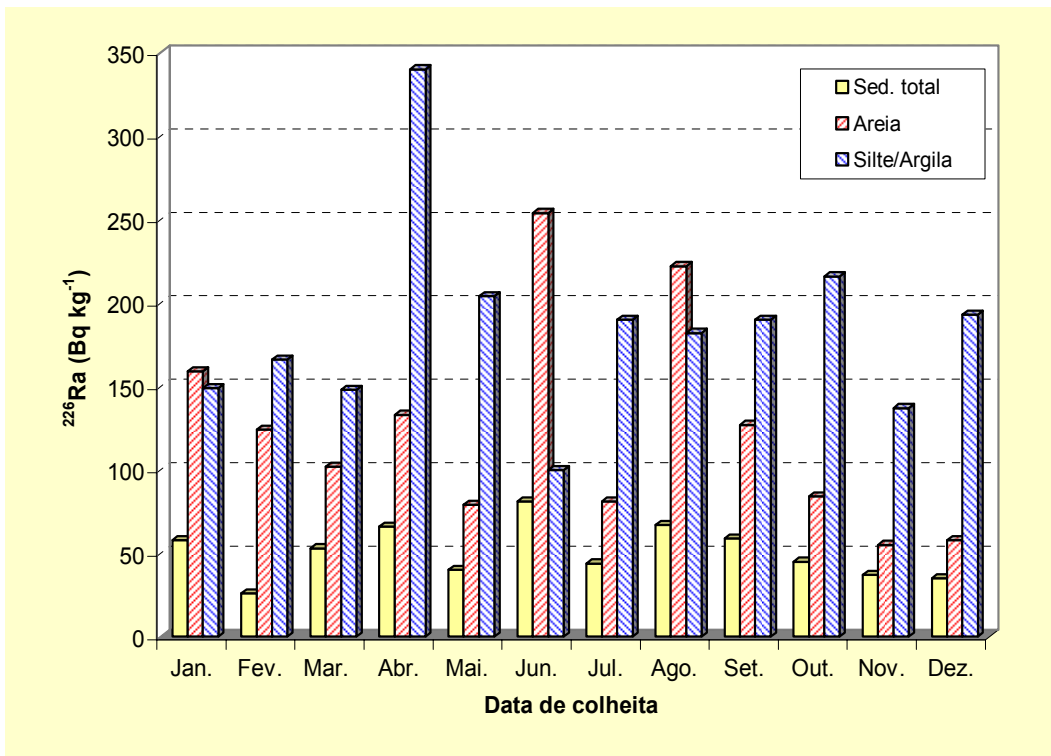


Figura 10 – Variação da concentração em  $^{226}\text{Ra}$  ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em V. Velha de Ródão

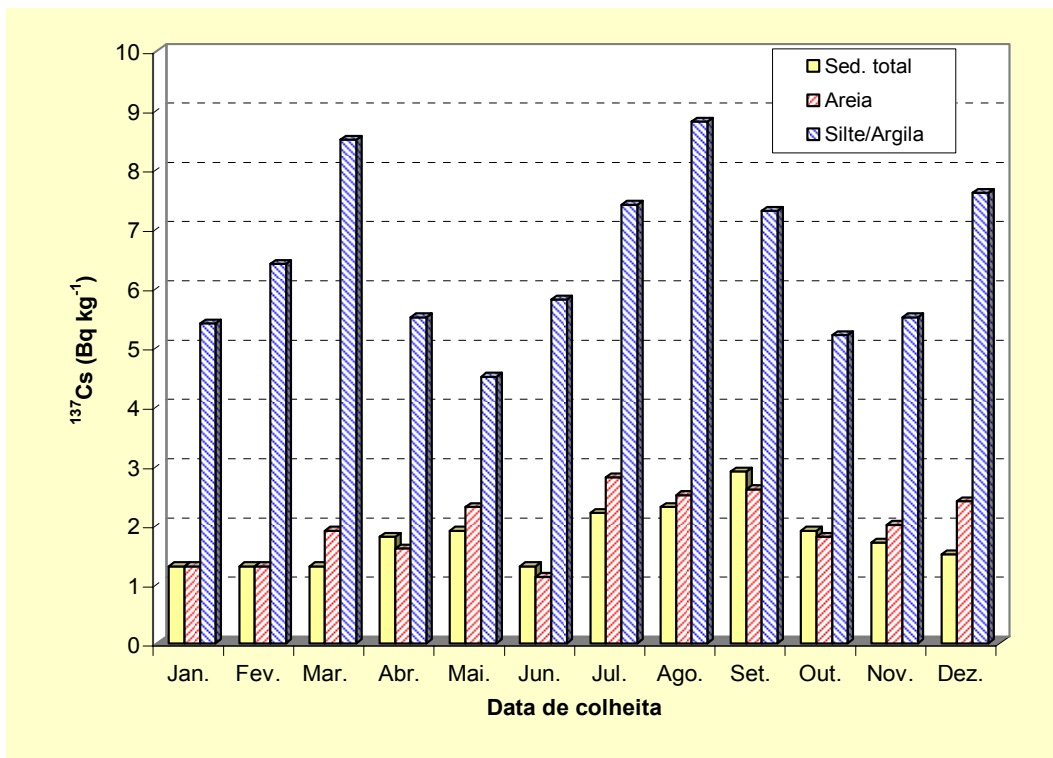


Figura 11 – Variação da concentração em  $^{137}\text{Cs}$  (Bq kg $^{-1}$ ) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em V. Velha de Ródão

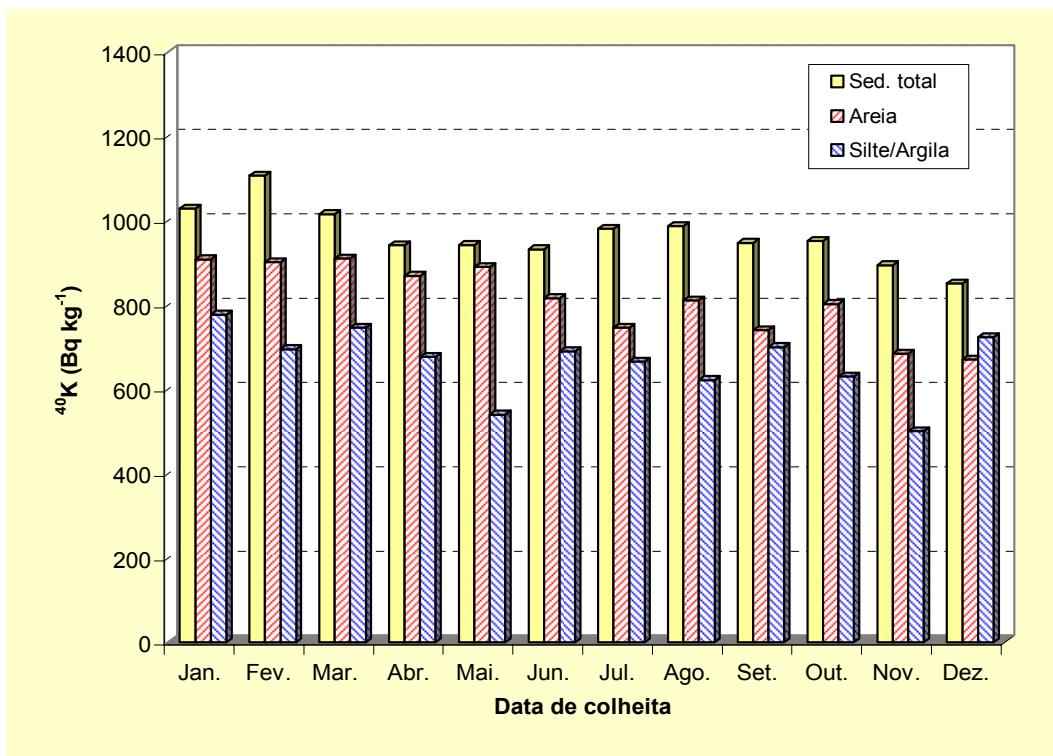


Figura 12 – Variação da concentração em  $^{40}\text{K}$  (Bq kg $^{-1}$ ) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em V. Velha de Ródão

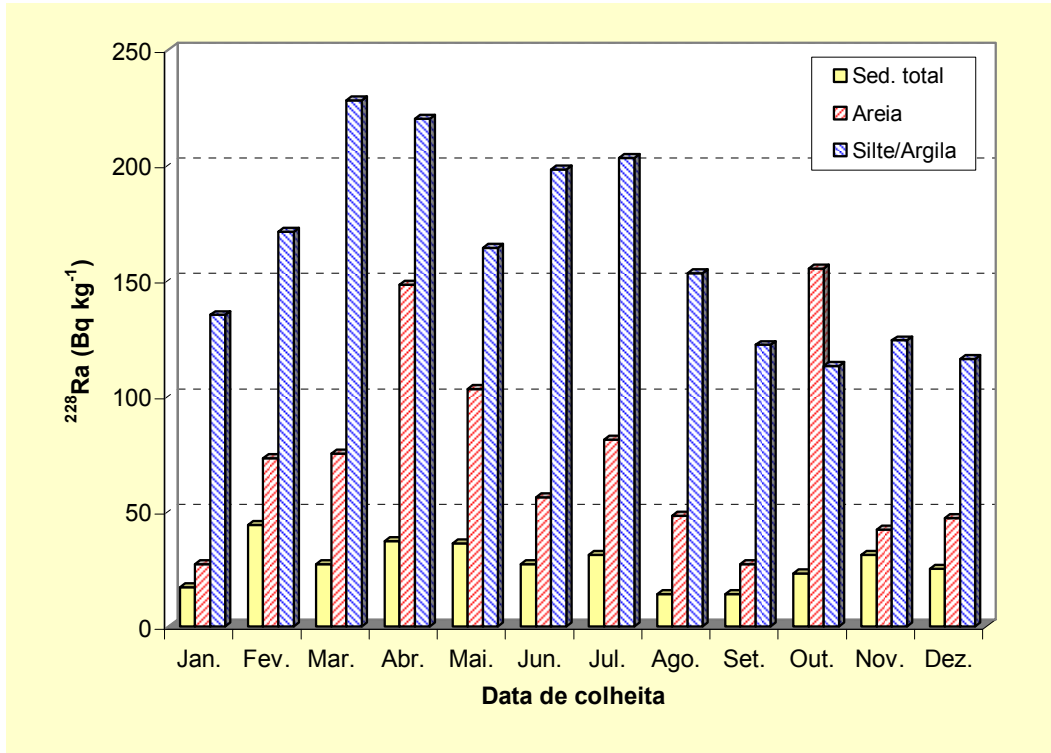


Figura 13 – Variação da concentração em  $^{228}\text{Ra}$  (Bq kg<sup>-1</sup>) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em Valada

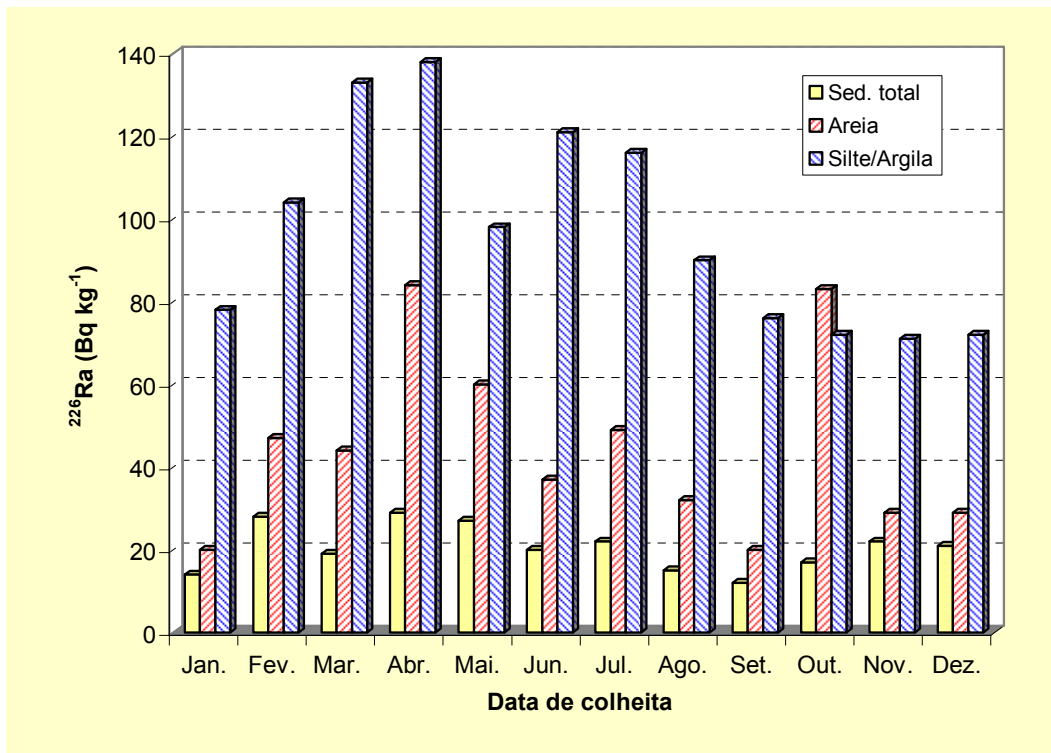


Figura 14 – Variação da concentração em  $^{226}\text{Ra}$  (Bq kg<sup>-1</sup>) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em Valada

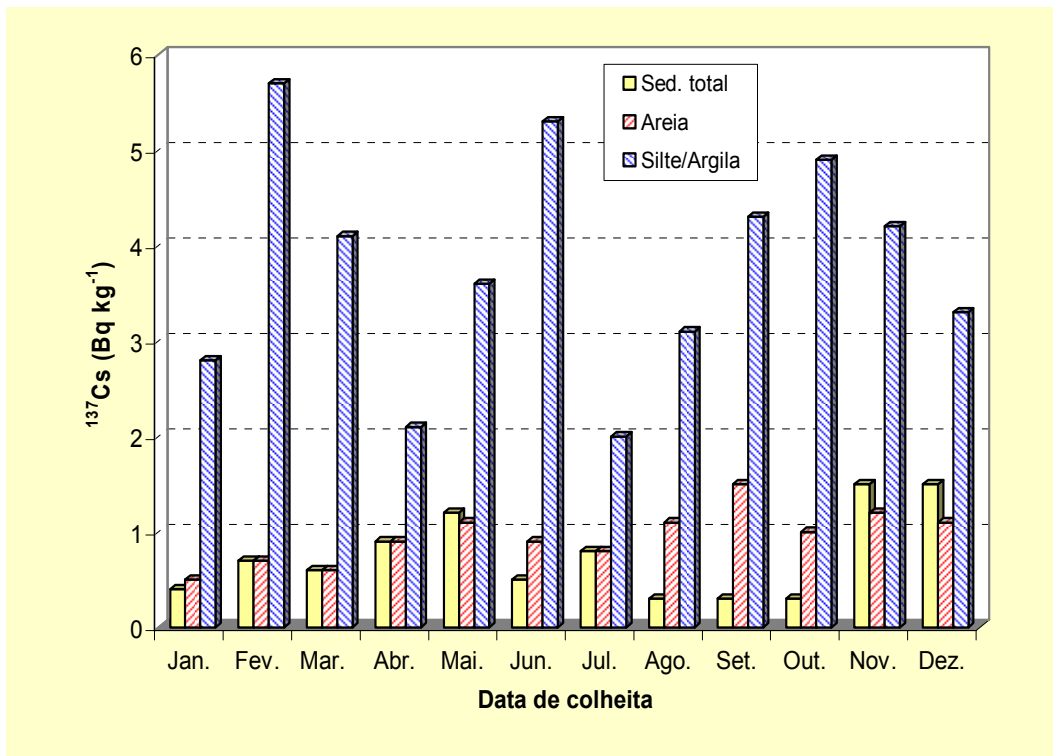


Figura 15 – Variação da concentração em  $^{137}\text{Cs}$  (Bq kg $^{-1}$ ) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em Valada

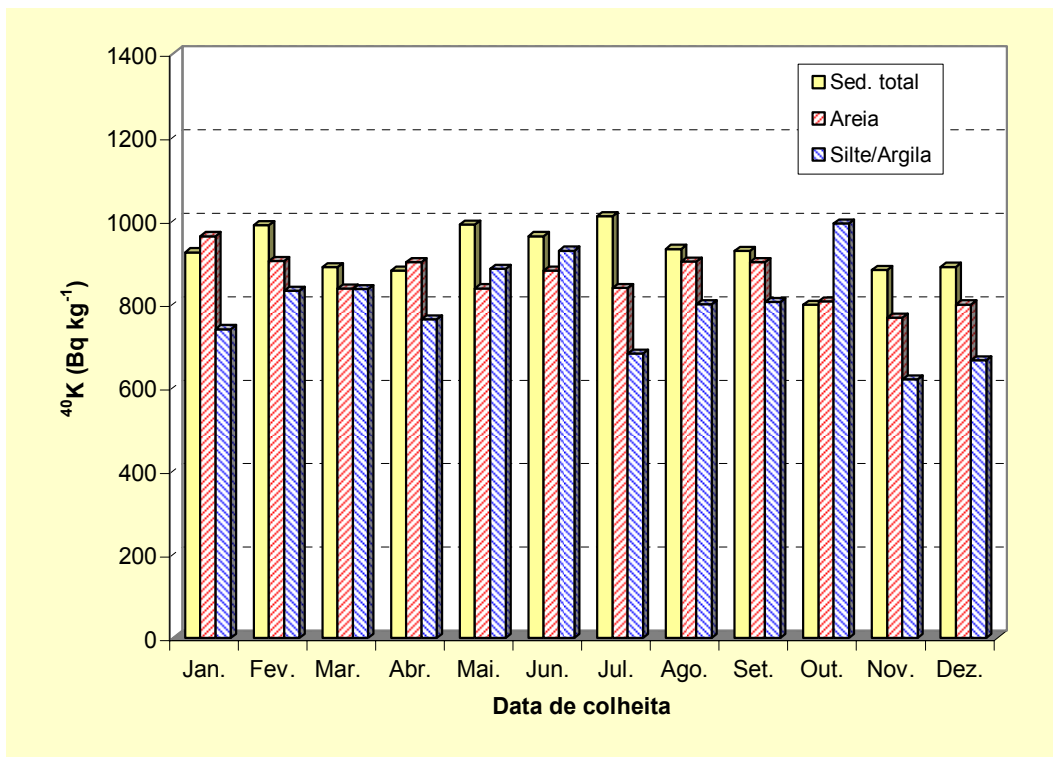


Figura 16 – Variação da concentração em  $^{40}\text{K}$  (Bq kg $^{-1}$ ) em sedimentos recolhidos no rio Tejo, em Valada

Tabela 24 - Concentração radioactiva ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em sedimentos totais, colhidos nos rios Douro, Mondego e Guadiana

Data de colheita	Local de amostragem	$^{235}\text{U}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
Junho	Rio Douro (Bar. do Pocinho)	$2,0 \pm 0,7$	$49,6 \pm 0,4$	$35 \pm 1$	$2,3 \pm 0,1$	$703 \pm 7$	$< 3$ (a)
Junho	Rio Mondego (Bar. Agueira)	$< 0,4$ (a)	$26,7 \pm 0,4$	$28,4 \pm 0,3$	$1,3 \pm 0,1$	$733 \pm 8$	$< 2$ (a)
Abril	Rio Guadiana (Bar. Alqueva)	$< 0,4$ (a)	$20,5 \pm 0,4$	$10,1 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,1$	$444 \pm 6$	$< 0,4$ (a)

Tabela 25 - Concentração radioactiva ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ ) 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	$^{235}\text{U}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
Junho	Rio Douro (Bar. do Pocinho)	$< 1$ (a)	$45 \pm 1$	$30 \pm 1$	$1,7 \pm 0,2$	$642 \pm 14$	$< 3$ (a)
Junho	Rio Mondego (Bar. Agueira)	$< 1$ (a)	$37 \pm 1$	$33 \pm 1$	$2,1 \pm 0,1$	$669 \pm 16$	$< 4$ (a)
Abril	Rio Guadiana (Bar. Alqueva)	$< 14$ (a)	$29 \pm 1$	$13,8 \pm 0,3$	$1,6 \pm 0,2$	$434 \pm 8$	$< 3$ (a)

Tabela 26 - Concentração radioactiva ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em silte/argila (fracção  $\varnothing \leq 63 \mu\text{m}$ ) colhidos nos rios Douro, Mondego e Guadiana

Data de colheita	Local de amostragem	$^{235}\text{U}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
Junho	Rio Douro (Bar. do Pocinho)	$7,9 \pm 0,5$	$87 \pm 2$	$63 \pm 2$	$4,1 \pm 0,3$	$704 \pm 14$	$< 5$ (a)
Junho	Rio Mondego (Bar. Agueira)	$17 \pm 1$	$187 \pm 4$	$121 \pm 4$	$6,1 \pm 1$	$536 \pm 31$	$< 19$ (a)
Abril	Rio Guadiana (Bar. Alqueva)	$< 1$ (a)	$60 \pm 1$	$31 \pm 1$	$4,9 \pm 0,3$	$514 \pm 13$	$< 4$ (a)

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



Tabela 27 – Valores de radioactividade em peixe ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ , músculo fresco), capturado no rio Tejo, em Vila Velha de Ródão

Data de colheita	Espécie	$^{137}\text{Cs}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{40}\text{K}$
<b>Janeiro</b>	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)
<b>Fevereiro</b>	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)
<b>Março</b>	Barbus Bocagei L.	< 0,04 (b)	< 0,8 (b)	< 0,1 (b)	115 ± 2
<b>Abril</b>	Barbus Bocagei L.	0,06 ± 0,02	< 0,1 (b)	< 0,1 (b)	125 ± 3
<b>Maió</b>	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
<b>Junho</b>	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
<b>Julho</b>	Barbus Bocagei L.	< 0,05 (b)	< 0,1 (b)	< 0,1 (b)	126 ± 2
<b>Agosto</b>	Barbus Bocagei L.	< 0,05 (b)	< 0,2 (b)	< 0,2 (b)	106 ± 5
<b>Setembro</b>	Carpas L.	< 0,07 (b)	< 0,1 (b)	< 0,1 (b)	102 ± 3
<b>Outubro</b>	Bogas L.	< 0,07 (b)	< 0,1 (b)	< 0,1 (b)	112 ± 3
<b>Novembro</b>	Barbus Bocagei L.	< 0,01 (b)	< 0,2 (b)	< 0,2 (b)	105 ± 5
<b>Dezembro</b>	Barbus Bocagei L.	0,06 ± 0,02	< 0,1 (b)	< 0,1 (b)	110 ± 3

Tabela 28 – Valores de radioactividade em peixe ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ , músculo fresco), capturado no rio Douro, em Barca d'Alva

Data de colheita	Espécie	$^{137}\text{Cs}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{40}\text{K}$
<b>Julho</b>	Barbus Bocagei L.	< 0,05 (b)	< 0,1 (b)	< 0,1 (b)	115 ± 3

(a) – não houve recolha de amostras, por ser tempo de defeso

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

(c) – Não houve fornecimento de peixe por parte do pescador

## **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.

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

Para a determinação dos radionuclidos emissores alfa, usou-se para 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 determinados 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 das medidas de radioactividade em mexilhões e algas colhidos na Costa Atlântica e nos estuários do Tejo e Sado estão expressos na Tabela 29. Como se pode observar, para os mexilhões, as concentrações nos radionuclidos  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$  e  $^{226}\text{Ra}$  são, em geral, relativamente constantes com valores variando, por exemplo, entre  $0,60 \pm 0,04 \text{ Bq kg}^{-1}$  e  $1,0 \pm 0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$  e entre  $0,028 \pm 0,004 \text{ Bq kg}^{-1}$  e  $0,06 \pm 0,01 \text{ Bq kg}^{-1}$  para o  $^{238}\text{U}$  e o  $^{235}\text{U}$ , respectivamente. O valor de aproximadamente 1 para a razão isotópica  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  indica a existência de equilíbrio radioactivo secular. Para o  $^{230}\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$  os valores variam de cerca de uma ordem de grandeza. Relativamente ao  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{137}\text{C}$  os valores são inferiores à actividade mínima detectável. No que se refere às algas provenientes de Matosinhos, a actividade nos radionuclidos naturais e artificiais detectados é, na generalidade, superior aos valores obtidos para os mexilhões.

Tabela 29 – Valores de radioactividade em mexilhões e algas ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ , peso fresco) colhidos na Costa Atlântica e nos estuários do Tejo e Sado

Local de amostragem	Tipo de amostra	$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$
<b>Matosinhos</b>	Mexilhões	$0,82 \pm 0,04$	$0,04 \pm 0,01$	$0,9 \pm 0,1$	$0,12 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,02$	< 3	< 0,1 (a)	$124 \pm 6$
	Algas	$2,2 \pm 0,1$	$0,11 \pm 0,01$	$2,4 \pm 0,1$	$0,1 \pm 0,1$	$0,9 \pm 0,3$	$1,15 \pm 0,03$	< 0,01 (a)	$77 \pm 5$
<b>Figueira da Foz</b>	Mexilhões	$1,0 \pm 0,1$	$0,04 \pm 0,01$	$1,0 \pm 0,1$	$0,30 \pm 0,04$	$0,16 \pm 0,04$	< 2,6 (a)	< 0,1 (a)	$39 \pm 7$
<b>Cabo de S. Vicente</b>	Mexilhões	$0,80 \pm 0,04$	$0,04 \pm 0,01$	$0,88 \pm 0,04$	$0,02 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,02$	< 2,3 (a)	< 0,05 (a)	$111 \pm 5$
<b>Estuário do Tejo</b>	Mexilhões	$0,60 \pm 0,04$	$0,028 \pm 0,004$	$0,68 \pm 0,04$	$0,023 \pm 0,004$	$0,07 \pm 0,02$	< 1,4 (a)	< 0,03 (a)	$13 \pm 3$
<b>Estuário do Sado</b>	Mexilhões	$0,9 \pm 0,1$	$0,06 \pm 0,01$	$1,0 \pm 0,1$	$0,05 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,03$	< 2,8 (a)	< 0,05 (a)	$30 \pm 4$

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

## 4. RADIOACTIVIDADE EM ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO

### 4.1. Material e Métodos

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

Nas amostras de água colhidas em V. Velha de Ródão e Sacavém determinou-se também a actividade em  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^3\text{H}$ , seguindo os mesmos procedimentos e normas já descritos em 2.2.1.

### 4.2. Resultados e Discussão

Nas Tabelas 30 e 31 estão expressos os valores das concentrações ( $\text{Bq L}^{-1}$ ) em  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^3\text{H}$  e da actividade alfa e beta total em águas para consumo humano colhidas mensalmente em Sacavém e em V. Velha de Ródão. Verifica-se que, em Sacavém, os valores médios são inferiores a  $0,90 \times 10^{-3} \text{ Bq L}^{-1}$  e  $1,7 \times 10^{-3} \text{ Bq L}^{-1}$  para o  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$ , respectivamente. Para o  $^3\text{H}$ , tal como em anos anteriores (Madruça *et al.*, 2003 & 2004), os valores são bastantes variáveis (valor médio inferior a  $4,2 \text{ Bq L}^{-1}$ ), possivelmente devido à quantidade de água do rio Tejo (captação de Valada) que é lançada na rede pública. Os valores da actividade alfa e beta totais são relativamente constantes com valores médios anuais de  $0,062 \pm 0,010 \text{ Bq L}^{-1}$  e inferiores a  $0,025 \text{ Bq L}^{-1}$ , respectivamente. Da análise dos resultados obtidos em V. Velha de Ródão (Tabela 31) constata-se que os valores em  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  são semelhantes aos obtidos em Sacavém. Os valores em  $^3\text{H}$  são mais baixos, com um valor médio inferior a  $2,5 \text{ Bq L}^{-1}$ , o que poderá ser devido à origem da água que, no caso de V. Velha de Ródão, tem captação própria não sendo originária do rio Tejo. Os valores de actividade alfa e beta total são superiores, com valores médios anuais de  $0,152 \pm 0,030 \text{ Bq L}^{-1}$  e  $0,116 \pm 0,014 \text{ Bq L}^{-1}$  respectivamente.

A Tabela 32 apresenta os valores de radioactividade em amostras de água para consumo humano recolhidas mensalmente em vários locais do país. Da análise dos resultados constata-se que os valores variam entre um valor inferior à actividade mínima detectável

( $0,015 \text{ Bq L}^{-1}$ ) e  $0,184 \pm 0,030 \text{ Bq L}^{-1}$  para a medida alfa total e entre  $0,026 \pm 0,003 \text{ Bq L}^{-1}$  e  $0,281 \pm 0,026 \text{ Bq L}^{-1}$  para a medida beta total. Estes resultados são semelhantes aos obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2003 & 2004).

Nas Figuras 17 e 18 estão representadas as variações mensais das actividades beta e alfa totais em águas para consumo humano recolhidas em Sacavém, V. Velha de Ródão, Porto e Lisboa. Como se pode observar, os valores são relativamente constantes e inferiores aos valores recomendados para estes parâmetros radioactivos no Decreto-Lei 243/2001 de 5 de Setembro (alfa total:  $0,1 \text{ Bq L}^{-1}$ ; beta total:  $1 \text{ Bq L}^{-1}$ ), com excepção dos valores obtidos em V. Velha de Ródão para a medida alfa total. Como já referido anteriormente, esta água tem origem em captação própria que, estando situada numa região granítica, é espectável poderem existir radionuclidos das famílias naturais do urânio, emissores alfa, em concentrações mais elevadas.

Para todas as outras águas analisadas, os valores dos parâmetros radioactivos situam-se abaixo dos valores estipulados por Lei excepto, para a medida alfa total, para as águas recolhidas na Figueira da Foz ( $0,178 \pm 0,043 \text{ Bq L}^{-1}$ ), Barca d'Alva ( $0,184 \pm 0,030 \text{ Bq L}^{-1}$ ), Santarém ( $0,116 \pm 0,025 \text{ Bq L}^{-1}$ ) e Reguengos ( $0,182 \pm 0,045 \text{ Bq L}^{-1}$ ), cujos valores são superiores. A Organização Mundial de Saúde recomenda a determinação das concentrações dos radionuclidos específicos se as actividades alfa e beta ultrapassarem os valores legislados. A legislação nacional (Decreto-Lei 243/2001 de 5 de Setembro) transposta da legislação europeia ainda não considera a determinação das concentrações dos radionuclidos específicos.

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 Sacavém e em V. Velha de Ródão (Tabelas 30 e 31), 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 600 litros (EUR 19929 EN, 2001 & EUR 20765 EN, 2005) obtiveram-se os valores de  $0,081 \mu\text{Sv a}^{-1}$  e  $0,085 \mu\text{Sv a}^{-1}$  para a dose devida à ingestão de água de consumo em Sacavém e V. Velha de Ródão, respectivamente. Estes valores são idênticos aos obtidos em anos anteriores (Madruga *et al.*, 2003 & 2004). Na Finlândia, os valores de dose de radiação devido à ingestão dos radionuclidos  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^3\text{H}$  através da água de consumo, durante o ano de 2003, variaram entre  $0,7$  e  $5 \mu\text{Sv a}^{-1}$  (STUK-B-TKO5, 2004).

**Tabela 30 - Valores de radioactividade ( $\text{Bq L}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em água para consumo humano colhida em Sacavém**

Data de colheita	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^3\text{H}$	Alfa Total	Beta Total
<b>Janeiro</b>	$< 0,60 \times 10^{-3}$ (c)	$(2,6 \pm 1,0) \times 10^{-3}$	$< 0,80$ (d)	$0,022 \pm 0,008$	$0,052 \pm 0,005$
<b>Fevereiro</b>	$< 0,60 \times 10^{-3}$ (c)	$< 0,50 \times 10^{-3}$ (b)	$6,1 \pm 0,7$	$0,018 \pm 0,007$	$0,047 \pm 0,005$
<b>Março</b>	$< 0,60 \times 10^{-3}$ (c)	$< 0,50 \times 10^{-3}$ (b)	$< 0,80$ (d)	$0,017 \pm 0,007$	$0,053 \pm 0,005$
<b>Abril</b>	$< 0,60 \times 10^{-3}$ (c)	$< 0,50 \times 10^{-3}$ (b)	$7,0 \pm 0,6$	$< 0,015$ (a)	$0,055 \pm 0,005$
<b>Maió</b>	$(1,8 \pm 0,7) \times 10^{-3}$	$(1,0 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	$7,6 \pm 0,7$	$0,021 \pm 0,008$	$0,064 \pm 0,006$
<b>Junho</b>	$< 0,60 \times 10^{-3}$ (c)	$(1,7 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$6,1 \pm 0,7$	$0,032 \pm 0,009$	$0,054 \pm 0,006$
<b>Julho</b>	$< 0,60 \times 10^{-3}$ (c)	$< 0,50 \times 10^{-3}$ (b)	$7,1 \pm 0,6$	$0,033 \pm 0,010$	$0,066 \pm 0,006$
<b>Agosto</b>	$(2,4 \pm 1,4) \times 10^{-3}$	$(2,8 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	$< 0,80$ (d)	$0,032 \pm 0,009$	$0,068 \pm 0,006$
<b>Setembro</b>	$(1,0 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$(3,0 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$6,6 \pm 0,7$	$0,032 \pm 0,008$	$0,072 \pm 0,006$
<b>Outubro</b>	$(0,8 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$(2,4 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$< 0,80$ (d)	$0,022 \pm 0,008$	$0,063 \pm 0,005$
<b>Novembro</b>	(e)	$(3,0 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	$< 0,80$ (d)	$0,028 \pm 0,008$	$0,082 \pm 0,006$
<b>Dezembro</b>	$(0,9 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	$(1,5 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$6,0 \pm 0,7$	$0,030 \pm 0,008$	$0,071 \pm 0,006$
<b>Média<math>\pm\sigma</math></b>	$< 0,9 \times 10^{-3}$ (n=11)	$< 1,7 \times 10^{-3}$ (n=12)	$< 4,2$ (n=12)	$< 0,025$ (n=12)	$0,062 \pm 0,010$ (n=12)

(a) Actividade mínima detectável para a medição alfa total

(b) Actividade mínima detectável em  $^{90}\text{Sr}$

(c) Actividade mínima detectável em  $^{137}\text{Cs}$

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

(e) Amostra danificada durante a análise

Tabela 31 - Valores de radioactividade ( $\text{Bq L}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em água para consumo humano colhida em V. Velha de Ródão

Data de colheita	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^3\text{H}$	Alfa Total	Beta Total
<b>Janeiro</b>	$(1,6 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$(3,7 \pm 2,0) \times 10^{-3}$	$< 0,80$ (c)	$0,198 \pm 0,012$	$0,106 \pm 0,005$
<b>Fevereiro</b>	$< 0,60 \times 10^{-3}$ (b)	$(1,8 \pm 1,4) \times 10^{-3}$	$< 0,80$ (c)	$0,143 \pm 0,011$	$0,093 \pm 0,005$
<b>Março</b>	$(1,2 \pm 0,7) \times 10^{-3}$	$(2,3 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$8,6 \pm 0,8$	$0,175 \pm 0,014$	$0,120 \pm 0,005$
<b>Abril</b>	$(1,0 \pm 0,8) \times 10^{-3}$	$(5,9 \pm 4,1) \times 10^{-3}$	$1,0 \pm 0,4$	$0,156 \pm 0,013$	$0,120 \pm 0,005$
<b>Mai</b>	$(0,8 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$(1,8 \pm 1,4) \times 10^{-3}$	$6,5 \pm 0,6$	$0,175 \pm 0,014$	$0,123 \pm 0,006$
<b>Junho</b>	$< 0,60 \times 10^{-3}$ (b)	$(2,0 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$< 0,80$ (c)	$0,155 \pm 0,013$	$0,108 \pm 0,005$
<b>Julho</b>	$< 0,60 \times 10^{-3}$ (b)	$(3,7 \pm 1,0) \times 10^{-3}$	$< 0,80$ (c)	$0,091 \pm 0,013$	$0,108 \pm 0,006$
<b>Agosto</b>	$(0,8 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	$(2,9 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$< 0,80$ (c)	$0,103 \pm 0,013$	$0,120 \pm 0,007$
<b>Setembro</b>	$(1,9 \pm 0,7) \times 10^{-3}$	$(4,2 \pm 0,9) \times 10^{-3}$	$< 0,80$ (c)	$0,125 \pm 0,013$	$0,106 \pm 0,006$
<b>Outubro</b>	$< 0,60 \times 10^{-3}$ (b)	$(1,8 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	$3,9 \pm 0,3$	$0,158 \pm 0,013$	$0,109 \pm 0,005$
<b>Novembro</b>	$(0,9 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	$(2,3 \pm 0,4) \times 10^{-3}$	$4,6 \pm 0,4$	$0,165 \pm 0,015$	$0,147 \pm 0,007$
<b>Dezembro</b>	$(1,3 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$(3,3 \pm 0,5) \times 10^{-3}$	$1,0 \pm 0,6$	$0,179 \pm 0,014$	$0,126 \pm 0,006$
<b>Média<math>\pm\sigma</math></b>	$< 1,0 \times 10^{-3}$ (n=12)	$(3,0 \pm 1,3) \times 10^{-3}$ (n=12)	$< 2,5$ (n=12)	$0,152 \pm 0,030$ (n=12)	$0,116 \pm 0,014$ (n=12)

(b) Actividade mínima detectável em  $^{137}\text{Cs}$ (c) Actividade mínima detectável em  $^3\text{H}$

Tabela 32 - Valores de radioactividade (Bq l<sup>-1</sup>) em água para consumo humano colhida em vários locais do país

Data de colheita	Local de amostragem	Alfa Total	Beta Total
<b>Janeiro</b>	Aveiro	0,107 ± 0,013	0,110 ± 0,006
	Fig. <sup>a</sup> da Foz	0,178 ± 0,043	0,281 ± 0,026
	Lisboa	0,018 ± 0,009	0,058 ± 0,006
	Porto	0,022 ± 0,008	0,035 ± 0,005
<b>Fevereiro</b>	Chaves	0,023 ± 0,007	0,063 ± 0,005
	Vila Real	< 0,015 (a)	0,026 ± 0,003
	Lisboa	0,021 ± 0,009	0,056 ± 0,006
	Porto	0,042 ± 0,009	0,045 ± 0,005
<b>Março</b>	Marinha Grande	0,042 ± 0,010	0,113 ± 0,008
	Arruda dos Vinhos	0,049 ± 0,018	0,061 ± 0,011
	Lisboa	0,027 ± 0,010	0,060 ± 0,006
	Porto	< 0,015 (a)	0,041 ± 0,007
<b>Abril</b>	Lagoa	0,028 ± 0,023	0,057 ± 0,013
	Mimosa	< 0,015 (a)	0,211 ± 0,050
	Lisboa	0,036 ± 0,012	0,082 ± 0,008
	Porto	0,022 ± 0,009	0,051 ± 0,006
<b>Maió</b>	Lagos	0,042 ± 0,012	0,116 ± 0,010
	Sagres	0,057 ± 0,044	0,120 ± 0,032
	Lisboa	0,043 ± 0,012	0,083 ± 0,009
	Porto	0,021 ± 0,009	0,051 ± 0,006
<b>Junho</b>	Cruz de Pau	0,027 ± 0,014	0,101 ± 0,010
	Lisboa	0,045 ± 0,012	0,078 ± 0,007
	Porto	0,022 ± 0,010	0,055 ± 0,006
<b>Julho</b>	Aguieira	0,071 ± 0,011	0,115 ± 0,006
	Barca d'Alva	0,184 ± 0,030	0,201 ± 0,015
	Lisboa	0,035 ± 0,012	0,067 ± 0,007
	Porto	< 0,015 (a)	0,033 ± 0,005
<b>Agosto</b>	Leiria	0,079 ± 0,015	0,121 ± 0,009
	Póvoa S. <sup>a</sup> Iria	0,027 ± 0,007	0,054 ± 0,005
	Lisboa	0,029 ± 0,010	0,065 ± 0,007
	Porto	0,017 ± 0,008	0,036 ± 0,005
<b>Setembro</b>	Pombal	0,023 ± 0,021	0,038 ± 0,013
	Caldas da Rainha	0,078 ± 0,021	0,055 ± 0,010
	Lisboa	0,027 ± 0,010	0,067 ± 0,006
	Porto	0,043 ± 0,010	0,048 ± 0,006
<b>Outubro</b>	Cabanas de Tavira	< 0,015 (a)	0,036 ± 0,006
	S.Brás de Alportel	< 0,015 (a)	0,036 ± 0,006
	Lisboa	0,027 ± 0,011	0,067 ± 0,007
	Porto	0,020 ± 0,009	0,039 ± 0,005

(a) Actividade mínima detectável para a medição alfa total



**Continuação da Tabela 32**

<b>Data de colheita</b>	<b>Local de amostragem</b>	<b>Alfa Total</b>	<b>Beta Total</b>
<b>Novembro</b>	Palmela	0,064 ±0,015	0,113 ±0,009
	Santarém	0,116 ±0,025	0,172 ±0,014
	Lisboa	0,029 ± 0,011	0,085 ± 0,007
	Porto	0,020 ± 0,008	0,050 ± 0,005
<b>Dezembro</b>	Ourique	< 0,015 (a)	0,030 ±0,018
	Reguengos	0,182 ±0,045	0,251 ±0,024
	Lisboa	0,028 ± 0,010	0,062 ± 0,006
	Porto	< 0,015 (a)	0,044 ±0,005

(a) Actividade mínima detectável para a medição alfa total

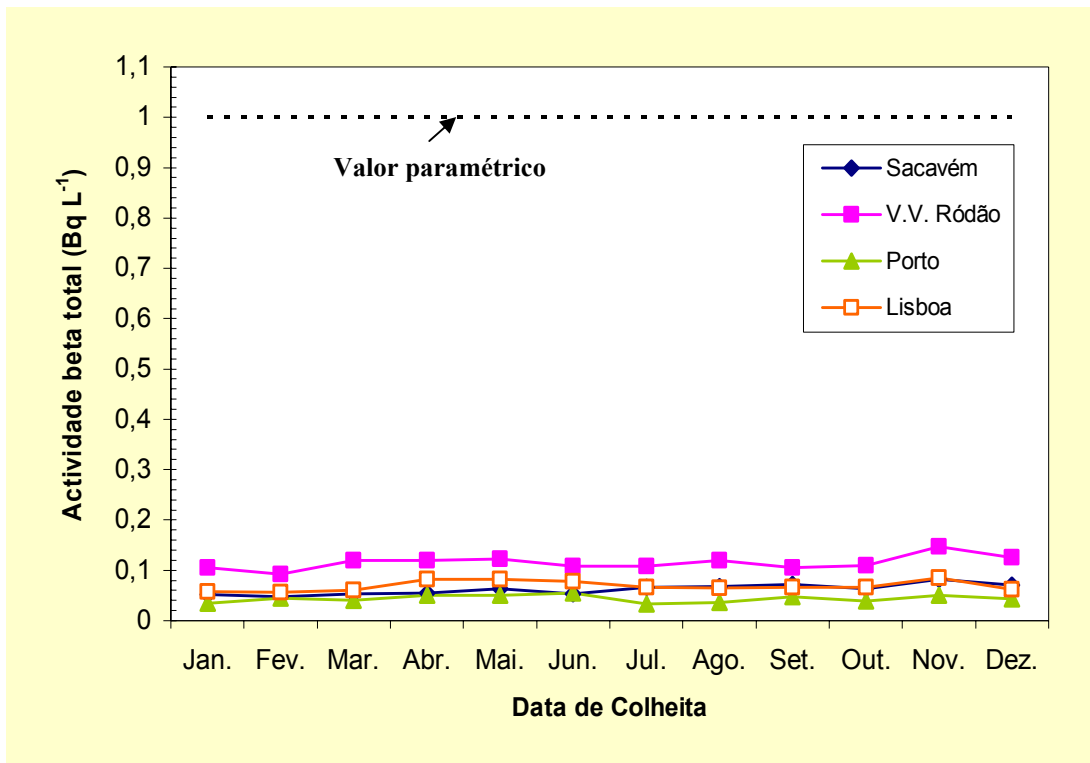


Figura 17 - Variação da actividade beta total (Bq L<sup>-1</sup>) em águas para consumo humano

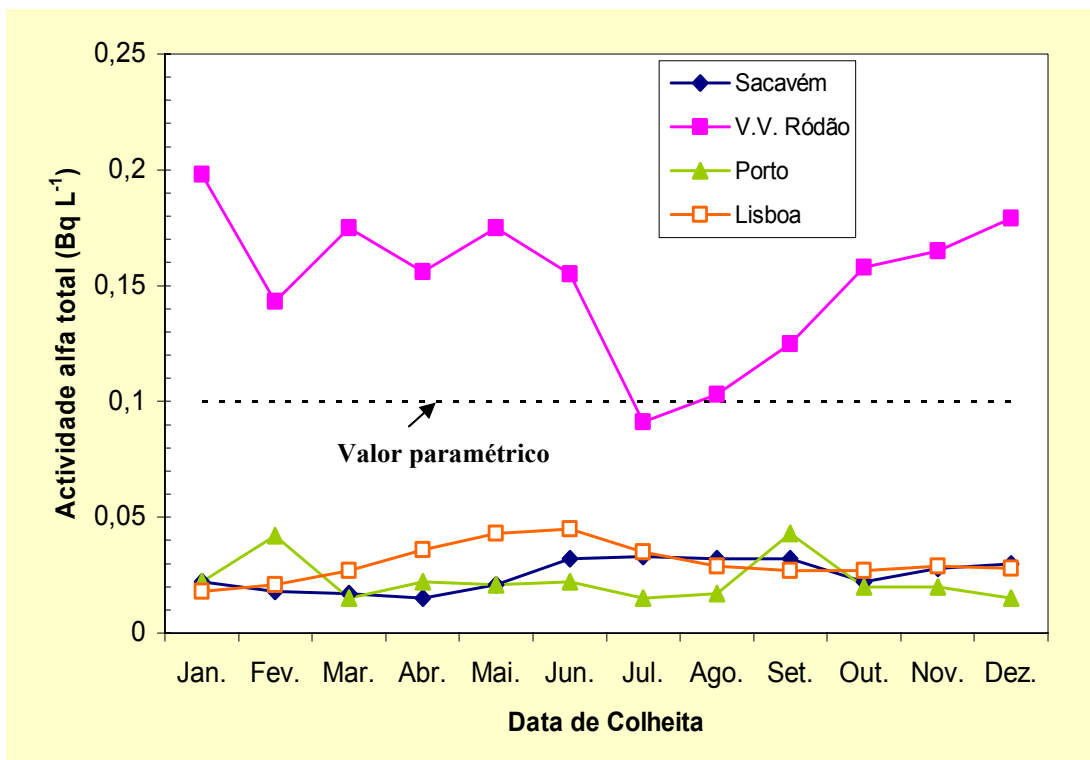


Figura 18 - Variação da actividade alfa total (Bq L<sup>-1</sup>) em águas para consumo humano

## 5. RADIOACTIVIDADE EM COMPONENTES DA CADEIA ALIMENTAR

### 5.1. Material e Métodos

#### Dieta Mista e Refeições Completas

A recolha de amostras dos diferentes componentes da cadeia alimentar (carne, fruta, vegetal, tubérculo) consistiu na obtenção de: *i*) amostras semestrais destes componentes (carne, fruta, vegetal, tubérculo) recolhidas no produtor, provenientes das 7 Direcções Regionais de Agricultura do Continente, da Inspeção Regional das Actividades Económicas dos Açores e da Secretaria Regional do Ambiente e Recursos Naturais da Madeira; *ii*) 3 amostras anuais de produtos (carne, fruta, vegetal, tubérculo) adquiridos na região de V. Velha de Ródão; e, *iii*) amostras semestrais (carne, fruta, vegetal, farinha, peixe, marisco) adquiridas em supermercados da área de Lisboa (Figura 1). Com este plano, procurou-se que as amostragens dos diferentes componentes fossem as mais representativas possíveis da situação nacional.

As amostras de refeições completas foram recolhidas, trimestralmente, na cantina do ITN no *campus* de Sacavém, cujo abastecimento é efectuado por uma empresa que recorre aos mercados da zona de Lisboa. A composição de cada amostra está descrita na Tabela 34.

As amostras dos componentes da cadeia alimentar e as refeições completas foram triturados, homogeneizados e colocados em porta-amostras de 1 litro com a geometria “Marinelli”. As medições de radioactividade foram efectuadas, por espectrometria gama, usando os detectores de GeHp, os sistemas de análise e de calibração já referidos em 2.2.1.

#### Leite

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

Determinou-se a radioactividade em  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  (isótopo radioactivo natural) 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 cru. As medições de radioactividade foram efectuadas usando os detectores de GeHp, os sistemas de análise e de calibração já referidos em 2.2.1. 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 beta baixo fundo RISO, já referido em 2.2.1., calibrado com padrões sob a mesma forma química e geometria das amostras a medir.

## 5.2. Resultados e Discussão

### **Dieta Mista e Refeições Completas**

Na Tabela 33 estão expressos os valores das concentrações ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) dos radionuclídeos artificiais e naturais ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  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 em  $^{137}\text{Cs}$  se situa abaixo dos valores da actividade mínima detectada (0,1, 0,2 ou 0,3  $\text{Bq kg}^{-1}$ , 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  $22\pm 3 \text{ Bq kg}^{-1}$  (maçã proveniente da região de V Velha de Ródão) e  $216\pm 3 \text{ Bq kg}^{-1}$  (couve proveniente da Direcção Regional de Agricultura do Alentejo). Relativamente ao  $^7\text{Be}$ , os valores são na grande maioria inferiores ao valor da actividade mínima detectável, que varia entre 0,5 e 2,9  $\text{Bq kg}^{-1}$ , dependendo das condições de medição utilizadas. Foram detectados vestígios de  $^7\text{Be}$  em algumas amostras de vegetais (couve e alface). Sendo o  $^7\text{Be}$  um radionuclídeo de origem cósmica ao ser transportado pela água da chuva poderá depositar-se na biosfera e principalmente em produtos da cadeia alimentar (vegetais) mais sujeitos a essa deposição.

Estes resultados são consistentes com medidas efectuadas em anos anteriores em produtos da cadeia alimentar (Sequeira *et al.*, 2002; Madruga *et al.*, 2003 & 2004). Outros autores (RIFE-9, 2004) apresentam para a dieta mista valores médios variando entre 71 e 93  $\text{Bq kg}^{-1}$  para o  $^{40}\text{K}$  e valores inferiores a 0,1  $\text{Bq kg}^{-1}$  para o  $^{137}\text{Cs}$ .

Os valores das medidas de radioactividade ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) em refeições completas adquiridas no refeitório do ITN estão expressos na Tabela 34. Da análise dos resultados pode constatar-se que os valores de actividade 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 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). No Reino Unido (RIFE-9, 2004) foram medidos valores inferiores a 0,06  $\text{Bq L}^{-1}$  para o  $^{137}\text{Cs}$  em amostras de refeições completas adquiridas em cantinas, durante o ano de 2003 e relativamente ao  $^{40}\text{K}$  referem valores que variam entre 90 e 95  $\text{Bq L}^{-1}$ .

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 33 e 34) a dose devida à ingestão

de  $^{137}\text{Cs}$  deverá ser inferior a  $2 \mu\text{Sv a}^{-1}$ . Alguns autores (STUK-B-TKO5, 2004) apresentam o valor inferior a  $20 \mu\text{Sv}$  para a dose de radiação em  $^{137}\text{Cs}$  devida à ingestão de produtos da cadeia alimentar durante o ano de 2003.

Tabela 33 - Valores de radioactividade ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ , peso fresco) em produtos da cadeia alimentar

Data de colheita	Proveniência	Produto	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
<b>Janeiro</b>	Supermercado (Lisboa)	Alface	< 0,3 (a)	122 ± 7	< 2,2 (a)
		Laranja	< 0,2 (a)	40 ± 4	< 2,1 (a)
		Farinha de trigo	< 0,1 (a)	47 ± 2	< 0,7 (a)
		Berbigão	< 0,1 (a)	56 ± 2	1,3 ± 0,2
		Carapau	< 0,2 (a)	119 ± 7	< 2,4 (a)
		Frango	< 0,1 (a)	118 ± 3	< 0,6 (a)
	Direcção Regional de Agricultura do Alentejo	Alface	< 0,1 (a)	138 ± 2	5,3 ± 0,4
		Cebola	< 0,3 (a)	57 ± 5	< 2,1 (a)
		Laranja	< 0,1 (a)	45 ± 1	< 0,5 (a)
		Carne (Suíno)	0,8 ± 0,2	72 ± 5	< 2,2 (a)
<b>Fevereiro</b>	Região de V.Velha de Ródão	Couve	< 0,3 (a)	129 ± 8	1,8 ± 1,2
		Batata	< 0,1 (a)	154 ± 3	< 0,7 (a)
		Maçã	< 0,3 (a)	22 ± 3	< 2,2 (a)
		Carne (Suíno)	< 0,1 (a)	111 ± 7	< 2,4 (a)
	Direcção Regional de Agricultura Entre Douro e Minho	Alface	< 0,3 (a)	117 ± 5	< 2,3 (a)
		Cebola	< 0,3 (a)	55 ± 5	< 2,1 (a)
		Laranja *	-	-	-
		Carne (Suíno)	< 0,3 (a)	104 ± 6	< 2,2 (a)
<b>Março</b>	Direcção Regional de Agricultura do Algarve	Couve Flôr	< 0,3 (a)	90 ± 6	< 2,1 (a)
		Batata Doce	< 0,1 (a)	121 ± 3	< 0,6 (a)
		Laranja	< 0,3 (a)	46 ± 4	< 1,9 (a)
		Carne (Bovino) **	< 0,3 (a)	104 ± 6	< 2,3 (a)
	Direcção Regional de Agricultura de Trás-os-Montes	Couve	< 0,3 (a)	118 ± 7	2,8 ± 1,2
		Batata	< 0,1 (a)	139 ± 3	< 0,6 (a)
		Laranja	< 0,3 (a)	47 ± 4	< 1,9 (a)
		Carne (Bovino-822)	< 0,2 (a)	82 ± 5	< 2,7 (a)
		Carne (Bovino-826)	< 0,1 (a)	91 ± 6	< 2,5 (a)
		Carne (Bovino-830)	0,3 ± 0,1	116 ± 6	< 2,9 (a)
<b>Abril</b>	Direcção Regional de Agricultura da Beira Litoral	Couve	0,2 ± 0,1	77 ± 5	2,5 ± 0,6
		Batata	< 0,1 (a)	128 ± 2	< 0,7 (a)
		Maçã	< 0,3 (a)	30 ± 3	< 2,0 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,3 (a)	117 ± 7	< 1,9 (a)
	Inspeção Regional das Actividades Económicas dos Açores (Ilha da Horta)	Couve	0,1 ± 0,04	90 ± 2	< 0,9 (a)
		Batata	< 0,3 (a)	134 ± 8	< 2,2 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,3 (a)	103 ± 6	< 1,9 (a)
		Peixe (Red fish e Pargo)**	< 0,4 (a)	117 ± 7	< 2,5 (a)

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

\* amostra danificada durante a análise.

\*\* amostra conjunta.

Continuação da Tabela 33

Data de colheita	Proveniência	Produto	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
<b>Maio</b>	Direcção Regional de Agricultura da Beira Interior	Alface	< 0,3 (a)	165 ± 9	1,2 ± 0,5
		Batata	< 0,3 (a)	136 ± 8	< 2,0 (a)
		Laranja	0,2±0,03	52 ± 1	< 0,7 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,3 (a)	90 ± 6	< 1,9 (a)
	Direcção Regional de Agricultura do Ribatejo e Oeste	Couve	< 0,1 (a)	71 ± 2	2,2 ± 0,3
		Batata	< 0,3 (a)	106 ± 6	< 2,1 (a)
		Maçã	< 0,1 (a)	34 ± 1	< 0,7 (a)
		Carne (Suíno)	< 0,3 (a)	118 ± 7	< 2,8 (a)
<b>Junho</b>	Direcção Regional de Agricultura do Alentejo	Couve	< 0,2 (a)	216 ± 3	1,2 ± 0,4
		Batata	< 0,3 (a)	133 ± 8	< 2,0 (a)
		Laranja	< 0,3 (a)	66 ± 5	< 1,9 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,3 (a)	95 ± 6	< 1,8 (a)
<b>Julho</b>	Supermercado (Lisboa)	Tomate	< 0,1 (a)	70 ± 2	< 0,7 (a)
		Melão	< 0,1 (a)	81 ± 2	< 0,6 (a)
		Farinha de trigo	< 0,3 (a)	42 ± 4	< 2 (a)
		Mexilhão	< 0,1 (a)	39 ± 1	< 0,6 (a)
		Sardinha	< 0,3 (a)	114 ± 7	< 1,8 (a)
		Carne (Frango)	< 0,2 (a)	98 ± 6	< 1,9 (a)
		Região de V. Velha de Ródão	Couve+Alface	< 0,1 (a)	102 ± 2
	Batata		< 0,3 (a)	137 ± 8	< 2,0 (a)
	Figos		< 0,3 (a)	89 ± 6	< 1,9 (a)
	<b>Agosto</b>	Secretaria Regional do Ambiente e Recursos da Madeira	Alface	< 0,3 (a)	101 ± 6
Batata			< 0,3 (a)	146 ± 8	< 2,0 (a)
Banana			< 0,1 (a)	170 ± 2	< 0,9 (a)
Carne (Suíno)			< 0,2 (a)	107 ± 6	< 1,9 (a)
<b>Setembro</b>			Direcção Regional de Agricultura do Algarve	Couve	< 0,1 (a)
	Cebola	< 0,2 (a)		36 ± 3	< 1,6 (a)
	Laranja	< 0,2 (a)		41 ± 4	< 1,7 (a)
	Carne (Bovino)	< 0,1 (a)		107 ± 2	< 0,6 (a)
	Direcção Regional de Agricultura Entre Douro e Minho	Alface	< 0,3 (a)	60 ± 4	< 2,0 (a)
		Batata	< 0,1 (a)	136 ± 2	< 0,8 (a)
		Maçã	< 0,2 (a)	25 ± 3	< 1,6 (a)
		Carne (Suíno)	0,1 ± 0,03	118 ± 2	< 0,7 (a)

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

## Continuação da Tabela 33

Data de colheita	Proveniência	Produto	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
<b>Outubro</b>	Direcção Regional de Agricultura de Trás-os-Montes	Couve	< 0,1 (a)	186 ± 3	< 0,9 (a)
		Batata	< 0,1 (a)	135 ± 3	< 0,6 (a)
		Pera	< 0,1 (a)	37 ± 1	< 0,8 (a)
		Carne (Bovino)**	< 0,2 (a)	108 ± 6	< 1,9 (a)
	Direcção Regional de Agricultura da Beira Litoral	Couve	0,4 ± 0,1	80 ± 5	1,5 ± 0,6
		Batata	0,3 ± 0,1	104 ± 6	< 1,9 (a)
		Maçã	< 0,1 (a)	41 ± 1	< 0,7 (a)
		Carne (Suíno)	0,2 ± 0,03	55 ± 2	< 0,7 (a)
<b>Novembro</b>	Região de V. Velha de Ródão	Brócolos	< 0,1 (a)	123 ± 3	< 0,8 (a)
		Batata	< 0,1 (a)	157 ± 2	< 0,7 (a)
		Laranja	< 0,1 (a)	73 ± 2	< 0,6 (a)
		Carne (Suíno)	< 0,1 (a)	97 ± 2	< 0,6 (a)
	Inspeção Regional das Actividades Económicas dos Açores (Horta -Faial)	Couve	0,1 ± 0,03	108 ± 3	4,9 ± 0,4
		Batata	< 0,2 (a)	123 ± 7	< 0,7 (a)
		Laranja	< 0,1 (a)	32 ± 1	< 0,8 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,2 (a)	108 ± 6	< 0,6 (a)
<b>Dezembro</b>	Direcção Regional de Agricultura da Beira Interior	Couve	< 0,1 (a)	73 ± 2	1,9 ± 0,3
		Batata	< 0,3 (a)	157 ± 9	< 2,2 (a)
		Maçã	< 0,2 (a)	47 ± 4	< 1,8 (a)
		Carne (Suíno)	< 0,2 (a)	102 ± 6	< 2,2 (a)
	Direcção Regional de Agricultura do Ribatejo e Oeste	Couve	< 0,2 (a)	85 ± 6	< 1,7 (a)
		Batata	< 0,3 (a)	117 ± 7	< 1,9 (a)
		Maçã	< 0,1 (a)	35 ± 1	< 0,7 (a)
		Carne (Bovino)	< 0,2 (a)	110 ± 7	< 1,7 (a)

Tabela 34 - Valores de radioactividade ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ , peso fresco) em refeições completas adquiridas no refeitório do ITN

Data de Colheita	Composição da refeição	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
<b>Março</b>	Sopa de legumes, almôndegas de carne de vaca, arroz, pão e maçã	< 0,2 (a)	66 ± 4	< 1,9 (a)
<b>Junho</b>	Sopa de nabiças, almôndegas de carne de vaca, arroz, pão e maçã	< 0,2 (a)	35 ± 3	< 1,8 (a)
<b>Setembro</b>	Sopa de abóbora, pargo assado no forno com batatas, pão, nectarina	< 0,3 (a)	67 ± 5	< 1,8 (a)
<b>Dezembro</b>	Sopa de nabiça, iscas de porco com batatas cozidas, pão, maçãs	< 0,2 (a)	52 ± 4	< 1,5 (a)

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

\*\* amostra conjunta



## Leite

Na Tabela 35 estão presentes os valores de actividade ( $\text{Bq L}^{-1}$ ) 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 em  $^{137}\text{Cs}$  são, em geral, inferiores ao valor da actividade mínima detectável, 0,1 ou 0,2  $\text{Bq L}^{-1}$  dependendo das condições de medição. Observam-se alguns vestígios deste radionuclido em algumas amostras de leite, tendo sido encontrado um valor máximo de  $0,32 \pm 0,07 \text{ Bq L}^{-1}$  em leite proveniente dos Açores, no mês de Novembro. Relativamente ao  $^{90}\text{Sr}$  os valores encontrados variam desde valores inferiores à actividade mínima detectável (valor variável que depende do fundo radioactivo e do rendimento químico da análise) até ao valor máximo de  $0,154 \pm 0,019 \text{ Bq L}^{-1}$ , medido em leite proveniente da região da Beira Interior. Os valores em  $^{40}\text{K}$ , radionuclido de origem natural, são mais elevados do que os obtidos para o  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  variando entre  $17 \pm 1$  e  $88 \pm 2 \text{ Bq L}^{-1}$ . Alguns autores (RPII-02/2, 2002) reportam o valor médio de  $0,04 \text{ Bq L}^{-1}$  para a actividade em  $^{90}\text{Sr}$  durante os anos de 1999 e 2000. No Reino Unido (RIFE-9, 2004) foram medidos 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 durante o ano de 2003.

Os valores das medidas de radioactividade em amostras de leite recolhidas mensalmente na região de V. Velha de Ródão/Nisa estão expressos na Tabela 36, sendo da mesma ordem de grandeza dos obtidos nas diferentes regiões de Portugal Continental e nas Ilhas (Tabela 35).

Estes resultados são consistentes com medidas efectuadas em anos anteriores (Sequeira *et al.*, 2002; Madruga *et al.*, 2003 & 2004).

Procedeu-se ao cálculo da dose devida à ingestão de leite, com base na taxa anual de consumo de 200 litros “per capita” (EUR 19929 EN, 2001 & EUR 20765 EN, 2005) nas actividades médias anuais em  $^{90}\text{Sr}$  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. Obteve-se o valor de  $0,62 \mu\text{Sv a}^{-1}$  para a dose devida à ingestão de leite. Estudos realizados na Finlândia (STUK-B-TKO5, 2004) referem valores de dose devida à ingestão de leite entre 0,7 e  $2,6 \mu\text{Sv}$  para o ano de 2003 considerando um consumo “per capita” de 140 litros.

**Tabela 35 - Valores de radioactividade ( $Bq L^{-1} \pm 2\sigma$ ) em leite proveniente de várias regiões de Portugal Continental e das Ilhas**

Data de colheita	Região	Tipo	$^{137}Cs$	$^{90}Sr$	$^{40}K$
<b>Janeiro</b>	Alentejo (Évora)	Vaca	< 0,1 (c)	$0,088 \pm 0,015$	$88 \pm 2$
<b>Fevereiro</b>	Entre Douro e Minho (Vila do Conde)	Cabra	< 0,1 (c)	(a)	$58 \pm 2$
<b>Março</b>	Trás-os-Montes (Mirandela)	Vaca	$0,08 \pm 0,02$	(b)	$44 \pm 1$
<b>Março</b>	Algarve (Lagos)	Vaca	< 0,1 (c)	< 0,030 (d)	$48 \pm 1$
<b>Abril</b>	Beira Litoral (Guia - Leiria)	Vaca	< 0,2 (c)	$0,053 \pm 0,022$	$80 \pm 2$
<b>Abril</b>	Açores (Flamengos - Horta)	Vaca	$0,11 \pm 0,03$	$0,137 \pm 0,015$	$43 \pm 1$
<b>Maió</b>	Beira Interior (Ladoeiro)	Vaca	< 0,1 (c)	< 0,040 (d)	$32 \pm 1$
<b>Maió</b>	Ribatejo e Oeste (Moita)	Vaca	< 0,1 (c)	< 0,049 (d)	$17 \pm 1$
<b>Junho</b>	Alentejo (Évora)	Vaca	< 0,1 (c)	$0,068 \pm 0,018$	$49 \pm 2$
<b>Agosto</b>	Madeira	Vaca	< 0,1 (c)	< 0,042 (d)	$33 \pm 1$
<b>Setembro</b>	Entre Douro e Minho (Vila do Conde)	Vaca	< 0,1 (c)	< 0,048 (d)	$45 \pm 1$
<b>Outubro</b>	Trás-os-Montes (Mirandela)	Vaca	< 0,1 (c)	< 0,049 (d)	$47 \pm 2$
<b>Outubro</b>	Beira Litoral (Tocal)	Vaca	$0,28 \pm 0,04$	< 0,033 (d)	$69 \pm 2$
<b>Novembro</b>	Beira Interior (Castelo Branco)	Vaca	< 0,1 (c)	$0,154 \pm 0,019$	$50 \pm 2$
<b>Novembro</b>	Açores (Flamengos - Horta)	Vaca	$0,32 \pm 0,07$	$0,049 \pm 0,013$	$62 \pm 4$
<b>Dezembro</b>	Ribatejo e Oeste (Cabeço Verde)	Vaca	< 0,1 (c)	(a)	$41 \pm 1$

(a) Amostra danificada durante a análise.

(b) Volume de amostra insuficiente para a análise.

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

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

Tabela 36 - Valores de radioactividade ( $\text{Bq L}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em leite proveniente da região de V. Velha de Ródão/Nisa

Data de colheita	Tipo	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{40}\text{K}$
<b>Janeiro</b>	Vaca	< 0,1 (b)	$0,056 \pm 0,017$	$52 \pm 2$
<b>Fevereiro</b>	Vaca	< 0,1 (b)	< 0,036 (b)	$44 \pm 1$
<b>Março</b>	Vaca	< 0,1 (b)	$0,031 \pm 0,011$	$18 \pm 1$
<b>Abril</b>	Vaca	< 0,1 (b)	< 0,032 (b)	$21 \pm 1$
<b>Maió</b>	Cabra	< 0,1 (b)	< 0,036 (b)	$43 \pm 1$
<b>Junho</b>	Cabra	< 0,1 (b)	$0,104 \pm 0,014$	$51 \pm 1$
<b>Julho</b>	Vaca	< 0,1 (b)	(a)	$50 \pm 1$
<b>Agosto</b>	Vaca	< 0,1 (b)	$0,037 \pm 0,013$	$40 \pm 1$
<b>Outubro</b>	Vaca	< 0,1 (b)	< 0,036 (b)	$43 \pm 1$
<b>Novembro</b>	Vaca	< 0,1 (b)	< 0,033 (b)	$48 \pm 1$

(a) Amostra danificada durante a análise.

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

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

## 6. RADIOACTIVIDADE EM SOLOS

### 6.1. Material e Métodos

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

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

No laboratório, os solos foram secos a 110°C, desagregados e passados por um peneiro com um crivo de 1000µm de diâmetro, tendo-se retido para análise a fracção ≤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 e os seus descendentes. Os solos colhidos no *campus* de Sacavém do ITN e no *campus* da Petrogal, foram também analisados após a colheita da amostra, de modo a se poderem vir a detectar os radionuclidos artificiais de vida curta, como, por exemplo, o <sup>131</sup>I. Para a análise por espectrometria gama usaram-se os detectores de GeHp, os sistemas de análise e as calibrações já referidos em 2.2.1.

### 6.2. Resultados e Discussão

Na Tabela 37 e Figura 19 estão presentes os valores de actividade (Bq kg<sup>-1</sup>) dos radionuclidos naturais e artificiais detectados em solos colhidos em várias regiões do país (Alentejo, Ribatejo, Beira Litoral e Trás-os-Montes). Como se pode verificar os valores obtidos para os radionuclidos das famílias naturais do urânio e tório são em geral baixos, verificando-se contudo que os solos colhidos em Barca d' Alva e na Aguieira apresentam valores mais elevados, possivelmente devido à constituição do substrato geológico. A actividade em <sup>40</sup>K é mais elevada nos solos orgânicos do que nos solos minerais devido á aplicação de potássio com fertilizante.

Nas Tabelas 38 e 39 estão expressos os valores de actividade (Bq kg<sup>-1</sup>) dos radionuclidos naturais e artificiais detectados em solos provenientes do *campus* do ITN em Sacavém e do *campus* da Petrogal. Os radionuclidos das famílias naturais do urânio e tório apresentam valores baixos e relativamente constantes com excepção dos valores obtidos em

<sup>234</sup>Th nos meses de Abril e Setembro e o valor obtido em <sup>210</sup>Pb no mês de Junho (Figura 20). O <sup>40</sup>K apresenta valores da ordem de grandeza dos obtidos para os solos (não orgânicos) colhidos em outras regiões do país. Os valores em <sup>131</sup>I são inferiores à actividade mínima detectável (variando entre 0,5 e 0,8 Bq kg<sup>-1</sup>, dependendo das condições de medição). Em geral, os valores obtidos para os solos colhidos no *campus* da Petrogal (Tabela 39) são semelhantes aos obtidos no *campus* do ITN em Sacavém (Tabela 38).

Tabela 37 – Valores de radioactividade ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em solos provenientes do Alentejo, Ribatejo, Beira Litoral e Trás-os-Montes

Local de amostragem	Tipo de solo	$^{235}\text{U}$	$^{234}\text{Th}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$
<b>Monsaraz (Alentejo)</b>	Orgânico	< 2,6 (a)	13 ± 2	20 ± 0,4	7,1 ± 0,2	13 ± 2	4,5 ± 0,2	292 ± 7	< 3,0 (a)
	Mineral	< 3,0 (a)	27 ± 2	21 ± 1	13 ± 0,5	20 ± 2	5,1 ± 0,3	442 ± 12	< 3,4 (a)
<b>Barca d' Alva (Trás-os-Montes)</b>	Orgânico	3,8 ± 0,4	61 ± 5	64 ± 1	27 ± 1	32 ± 3	7,5 ± 0,4	926 ± 22	4,0 ± 0,1
	Mineral	3,6 ± 0,3	48 ± 3	47 ± 1	28 ± 1	26 ± 2	4,2 ± 0,2	631 ± 15	< 4,0 (a)
<b>Aguieira (Beira Litoral)</b>	Orgânico	9,0 ± 1,3	130 ± 10	98 ± 1	115 ± 2	90 ± 5	1,8 ± 0,2	1169 ± 25	12 ± 3
	Mineral	3,1 ± 1,0	65 ± 4	37 ± 1	46 ± 1	44 ± 3	< 0,6 (a)	584 ± 15	< 3,9 (a)
<b>Valada (Ribatejo)</b>	Orgânico	< 0,6 (a)	17 ± 1	21 ± 1	17 ± 1	12 ± 2	1,1 ± 0,2	1022 ± 18	< 9,5 (a)
	Mineral	-	15 ± 1	16 ± 0,5	14 ± 0,5	14 ± 2	< 0,4 (a)	579 ± 13	8,1 ± 2,3

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

Tabela 38 – Valores de radioactividade ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em solos provenientes do *campus* do ITN em Sacavém

Data de colheita	$^{235}\text{U}$	$^{234}\text{Th}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$	$^{131}\text{I}$
<b>Março</b>	< 1,0 (a)	55 ± 4	38 ± 1	28 ± 1	93 ± 5	5,4 ± 0,3	672 ± 15	20 ± 2	< 0,6 (a)
<b>Abril</b>	28 ± 0,6	454 ± 18	36 ± 1	31 ± 1	86 ± 4	14 ± 1	608 ± 16	< 6,3 (a)	< 0,8 (a)
<b>Maió</b>	2,9 ± 1,2	69 ± 5	45 ± 1	28 ± 1	50 ± 5	8,6 ± 0,5	787 ± 19	< 4,9 (a)	< 0,7 (a)
<b>Junho</b>	< 1,0 (a)	90 ± 6	26 ± 1	22 ± 1	212 ± 8	13 ± 0,5	437 ± 12	< 4,9 (a)	< 0,7 (a)
<b>Julho</b>	< 0,7 (a)	41 ± 4	40 ± 1	26 ± 1	83 ± 4	1,9 ± 0,2	551 ± 12	5,1 ± 1,1	< 0,5 (a)
<b>Agosto</b>	3,4 ± 0,3	38 ± 5	45 ± 1	28 ± 1	58 ± 4	2,6 ± 0,3	690 ± 18	< 5,7 (a)	< 0,7 (a)
<b>Setembro</b>	20 ± 1	264 ± 16	46 ± 1	41 ± 1	88 ± 5	13 ± 0,5	566 ± 14	< 3,8 (a)	< 0,5 (a)
<b>Outubro</b>	4,5 ± 0,2	54 ± 5	57 ± 1	35 ± 1	37 ± 3	1,9 ± 0,3	743 ± 16	< 3,3 (a)	< 0,7 (a)
<b>Novembro</b>	2,6 ± 0,8	45 ± 3	43 ± 1	24 ± 1	45 ± 3	7,3 ± 0,4	572 ± 15	5,5 ± 1,4	< 0,6 (a)
<b>Dezembro</b>	7,7 ± 1,2	133 ± 8	50 ± 1	48 ± 1	81 ± 5	9,7 ± 0,4	618 ± 14	< 5,0 (a)	< 0,6 (a)

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

Tabela 39 – Valores de radioactividade ( $\text{Bq kg}^{-1} \pm 2\sigma$ ) em solos provenientes do *campus* da Petrogal

Data de colheita	$^{235}\text{U}$	$^{234}\text{Th}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^7\text{Be}$	$^{131}\text{I}$
<b>Março</b>	$3,9 \pm 0,3$	$33 \pm 4$	$39 \pm 1$	$32 \pm 1$	$42 \pm 3$	$< 0,6$ (a)	$743 \pm 16$	$1,0 \pm 0,2$	$< 0,6$ (a)
<b>Abril</b>	$< 0,7$ (a)	$38 \pm 5$	$40 \pm 1$	$23 \pm 0,5$	$31 \pm 3$	$0,7 \pm 0,2$	$655 \pm 14$	$5,5 \pm 1,3$	$< 0,5$ (a)
<b>Maió</b>	$< 0,5$ (a)	$13 \pm 2$	$16 \pm 0,3$	$12 \pm 0,3$	$11 \pm 4$	$< 0,6$ (a)	$597 \pm 14$	$2,2 \pm 1,5$	$< 0,5$ (a)
<b>Junho</b>	$< 0,7$ (a)	$40 \pm 3$	$38 \pm 1$	$24 \pm 1$	$24 \pm 2$	$1,2 \pm 0,2$	$556 \pm 14$	$2,3 \pm 0,9$	$< 0,5$ (a)
<b>Julho</b>	$< 0,7$ (a)	$35 \pm 3$	$35 \pm 1$	$23 \pm 1$	$27 \pm 2$	$2,3 \pm 0,2$	$530 \pm 13$	$< 3,5$ (a)	$< 0,5$ (a)
<b>Agosto</b>	$< 0,7$ (a)	$41 \pm 5$	$41 \pm 1$	$27 \pm 1$	$41 \pm 3$	$2,1 \pm 0,2$	$615 \pm 13$	$< 3,8$ (a)	$< 0,5$ (a)
<b>Setembro</b>	$< 0,7$ (a)	$31 \pm 3$	$42 \pm 1$	$26 \pm 1$	$25 \pm 3$	$1,0 \pm 0,2$	$646 \pm 15$	$8,8 \pm 1,6$	$< 0,6$ (a)
<b>Outubro</b>	$< 0,7$ (a)	$29 \pm 2$	$39 \pm 10$	$25 \pm 1$	$27 \pm 2$	$0,8 \pm 0,1$	$605 \pm 12$	$4,2 \pm 1,0$	$< 0,4$ (a)
<b>Novembro</b>	$< 0,7$ (a)	$26 \pm 3$	$30 \pm 0,5$	$18 \pm 0,5$	$23 \pm 2$	$0,9 \pm 0,2$	$614 \pm 15$	$< 3,8$ (a)	-
<b>Dezembro</b>	$< 0,7$ (a)	$40 \pm 3$	$30 \pm 1$	$21 \pm 1$	$26 \pm 3$	$1,0 \pm 0,2$	$711 \pm 17$	$6,6 \pm 1,6$	$< 0,8$ (a)

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



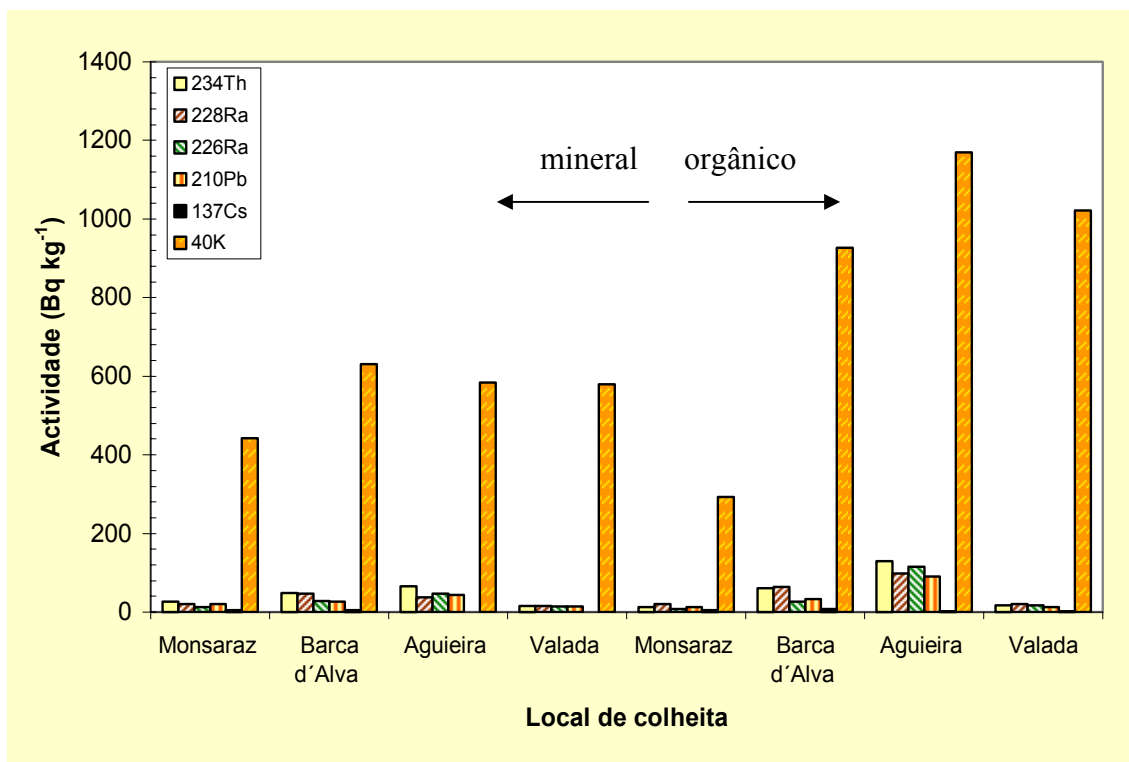


Figura 19- Radioactividade (Bq kg<sup>-1</sup>) em solos (mineral e orgânico) colhidos em diferentes regiões do país

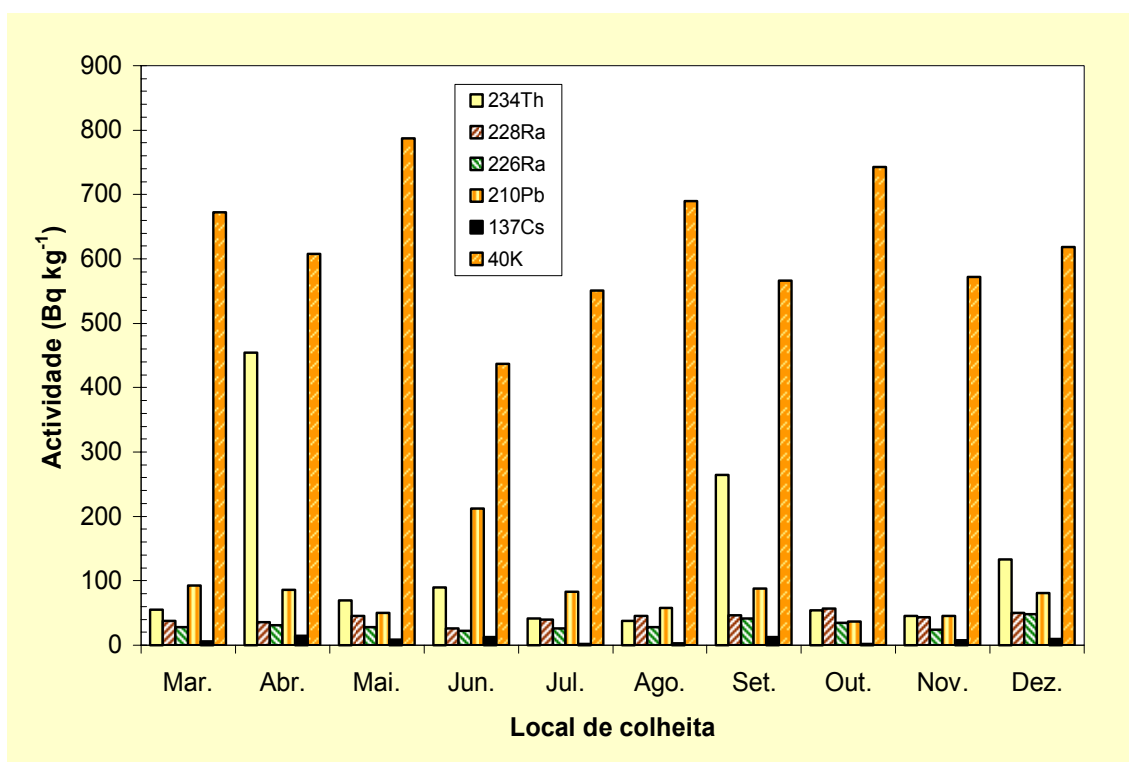


Figura 20- Radioactividade (Bq kg<sup>-1</sup>) em solos colhidos no *campus* do ITN (Sacavém)

## 7. CONCLUSÕES

Do vasto conjunto de resultados obtidos nos diferentes compartimentos ambientais (ar, água da chuva, águas de superfície, águas para consumo humano, produtos alimentares, leite, sedimentos e solos) é possível concluir que os teores de radioactividade determinados são baixos e 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  $^{40}\text{K}$ , apresentam valores típicos do fundo radioactivo, isto é, não alterado pela acção humana. As concentrações dos radionuclidos de origem artificial, designadamente  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^3\text{H}$ , são muito baixas e, frequentemente, abaixo dos valores da actividade mínima detectável.

O valor total de dose de radiação estimado devido à inalação e ingestão dos radionuclidos artificiais detectados nos compartimentos analisados é de cerca de  $2,7 \mu\text{Sv a}^{-1}$ . Este valor situa-se muito aquém dos limites de dose recomendados para elementos do público ( $1 \text{ mSv a}^{-1}$ ) (Directiva 96/29 EURATOM).

Os resultados do programa de 2004, mostraram que, tal como em anos precedentes, não há libertação de substâncias radioactivas para o ambiente que possam causar quaisquer efeitos nocivos para a saúde humana, com excepção do rio Tejo, onde os valores em  $^3\text{H}$  indicam contaminação radioactiva, mas pouco significativa sob o ponto de vista radiológico. Pode concluir-se que a população portuguesa residente não esteve exposta a níveis de contaminação radioactiva mais elevados que o fundo radioactivo natural, não sendo necessário recomendar qualquer medida de protecção radiológica.

## AGRADECIMENTOS

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

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azahra, M., Camacho-Garcia, A., González-Gomes, C., López-Peñalver, J.J., El Bardouni, T. (2003). Seasonal  $^7\text{Be}$  Concentrations in Near-Surface Air of Granada (Spain) in the Period 1993-2001, *Applied Radiation and Isotopes*, **59**, 159-164.
- Baeza, A., Carreiro, M.C.V., Guillén, F. J., Miró, C., Sequeira, M.M. (2002). Dilution of  $^{90}\text{Sr}$  in the Water of the Tagus River in Portugal and Spain. *Física 2002*, Évora 6/10 Setembro 2002.
- Basic Safety Standards (96/29 EURATOM, Tables A and B), 1996
- Bouisset, P., Barker, E., Masson, O., Gurriaran, R., Cagnat, X., Mekhlouche, D., Aubry, S., Hadjaj, M., Saey, L. (2004). Concentration de  $^{137}\text{Cs}$  et de  $^7\text{Be}$  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, Referencia INT-04.10, Consejo de Seguridad Nuclear, Depósito legal: M-26.381-2005.
- Cannizzaro, F., Greco, G., Raneli, M., Spitale, M.C., Tomarchio, E. (2004). Concentration Measurements of  $^7\text{Be}$  at Ground Level Air at Palermo, Italy – Comparison with Solar Activity over a Period of 21 years, *Journal of Environmental Radioactivity*, **72**, 259-271.
- COM/473/EURATOM- Commission Recommendation of 8 June 2000, Official Journal of the European Commission, n° 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.
- 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.
- Instituto de Meteorologia (2005), Caracterização Climática 2004, eds. IM, Lisboa, 19 pp.
- 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.
- 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 Nivel 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., 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., 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., Gouveia J., Ramos L., Pereira M. A., Tavares M. A., Libânio A., Silvino V. (2004). Vigilância Radiológica a Nível Nacional (Ano 2003). Relatório DPRSN, Série A, nº28/2004, ISBN 972-8660-29-4. Depósito Legal 194022/03.

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.

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

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

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

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

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

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

Todorovic, D., Popovic D., Djuric G., Radenkovic, M. (2005).  $^7\text{Be}$  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, R. *et al*, 2001; IRC Note nº50, 2002; Pham, M.K., 2004). Estes exercícios são organizados pela Organização Mundial de Saúde, Agência Internacional de Energia Atómica, União Europeia, e por outras organizações, e consistem, basicamente, na análise de amostras de composição desconhecida, distribuídas aos laboratórios participantes. Em 2004, participou-se num exercício de intercomparação para a determinação da concentração de  $^{137}\text{Cs}$  em aerossóis, no âmbito do Artigo 35º do tratado da EURATOM. Os resultados preliminares indicam que todos os laboratórios participantes, à excepção de quatro, apresentaram valores dentro do intervalo de aceitação, entre 0,65 e 1,35 (expresso em termos de razão entre a actividade medida e a actividade introduzida no filtro). O valor obtido pelo DPRSN foi de 1,18 (Watjen, U, 2005). Ainda em 2004, o DPRSN participou num exercício organizado pelo Consejo de Seguridad Nuclear (Espanha) para a determinação da actividade alfa total, beta total, trítio,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  em águas para consumo humano. Os resultados obtidos variaram entre o aceitável ( $Z\text{-score} \leq 2$ ) e o satisfatório ( $Z\text{-score}$  entre 2 e 3), dependendo dos radionuclídeos analisados (González, M.L.; Izquierdo, M., 2004). O valor de  $Z\text{-score}$  foi estabelecido por comparação entre o desvio de cada laboratório (diferença entre o valor obtido pelo laboratório e o valor de referência) e o desvio padrão da avaliação do laboratório (valor estabelecido como objectivo de qualidade do laboratório para cada análise/radionuclídeo).

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

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

González, M.L., Izquierdo, M. (2004). Intercomparación analítica entre laboratórios de radiactividad ambiental 2004, 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.

Watjen, U (2005). Status of the International Comparison Scheme for Radioactivity Environmental Monitoring. IRMM (Geel, Belgium), Abril 2005, personnel communication.