



Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear

Relatório DPRSN-A, nº 9

**Radioactividade Origem Telúrica na Bacia  
Hidrográfica do Zêzere e Tejo**

Fernando P. Carvalho, João M. Oliveira, Georgeta Alberto

Apresentado na 6ª Conferência Nacional Sobre a Qualidade do Ambiente  
20 a 22 de Outubro de 1999, Lisboa.  
Organizada pela FCT, Universidade Nova de Lisboa

22 de Outubro de 1999

---

---

Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear

Director: Fernando Piedade Carvalho  
Endereço: Estrada Nacional 10, 2686-953 Sacavém, Portugal  
Telefone: +351 - 21 994.60.00  
Fax: +351 - 21 994.19.95  
e-mail: [dprsn@itn.pt](mailto:dprsn@itn.pt)  
Pág. web <http://www.itn.pt>

**Ficha Técnica**

Título	Radioactividade de Origem Telúrica na Bacia Hidrográfica do Zêzere e Tejo
Autoria	Fernando P. Carvalho, João M. Oliveira, Georgeta Alberto
Edição	Instituto Tecnológico e Nuclear Dep. Protecção Radiológica e Segurança Nuclear
Tiragem	50 exemplares
ISBN	972-8660-04-9
Depósito Legal	159920/00
Data da Edição	Outubro de 2000
Responsável pela edição	M <sup>a</sup> Luísa Pedro

---

# Radioactividade de Origem Telúrica na Bacia Hidrográfica do Zêzere e Tejo

Fernando P. Carvalho, João M. Oliveira, Georgeta Alberto

*Instituto Tecnológico e Nuclear*  
*Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear*  
*E.N. 10, P- 2686-953 Sacavém*

## Resumo

As concentrações dos radionuclídeos emissores alfa das famílias do Urânio e do Tório foram determinadas na água dos rios Zêzere e Tejo. Os resultados indicam concentrações elevadas dos isótopos de Urânio, Rádio-226, Radão-222 e Chumbo-210 na água da nascente e do troço do Zêzere no maciço granítico, e um decréscimo gradual destas concentrações para jusante. As actividades destes radionuclídeos na água do rio Tejo são mais elevadas junto a Nisa, possivelmente devido aos jazigos de Urânio disseminados em superfície nos solos desta região, e decrescem também para jusante. A concentração do Urânio, Tório, Rádio, Chumbo e Polónio, na fase sólida (matéria em suspensão) é muito mais elevada que na fase solúvel. Os coeficientes de partição ( $K_d$ ) matéria em suspensão-água ( $\text{Bq kg}^{-1}$  partículas/ $\text{Bq kg}^{-1}$  água) são da ordem de  $10^5$  para o Tório,  $10^4$  para o Urânio e o Rádio,  $10^3$ - $10^4$  para o Chumbo e  $10^5$  para o Polónio, com variações importantes desde a zona de montanha até ao estuário. Entre todos os radionuclídeos, o  $^{222}\text{Rn}$  foi medido em concentrações mais elevadas, atingindo valores de 10-50 Bq/L na água da nascente do Zêzere e decrescendo para valores menores que 0.8 Bq/L na água do Tejo. As concentrações geralmente baixas destes radionuclídeos na bacia hidrográfica inferior destes rios não colocam qualquer problema à produção de água de consumo. No entanto, as concentrações mais elevadas medidas na água do Zêzere na região granítica recomendam a realização de um estudo mais detalhado sobre a radioactividade das águas utilizadas como água de consumo. Porém, este estudo da radioactividade nas águas de consumo não está ainda feito a nível nacional. Palavras-chave: Rios, Radioactividade, Urânio, Tório, Rádio, Radão, Polónio, Chumbo.

## 1. Introdução

Dado o uso crescente das águas superficiais como águas de consumo, o conhecimento da radioactividade destas águas é da maior importância para o controlo da dose de radiação recebida pela população. Para as doses de radiação por ingestão contribuem os radionuclídeos artificiais bem como os radionuclídeos das séries naturais, em particular do Urânio e do Tório. No nosso país, os radionuclídeos das séries naturais estão presentes em concentrações mais elevadas que os radionuclídeos artificiais e, por isso, dão o maior contributo para a dose de radiação. Procedemos ao estudo da distribuição dos radionuclídeos das séries naturais do Urânio e do Tório na bacia hidrográfica do Zêzere e Tejo, o que constitui a primeira contribuição sistemática para o

conhecimento da radioactividade natural, em especial dos radionuclidos emissores alfa, em rios ibéricos.

O Tejo tem um percurso de 1100 km atravessando as formações graníticas ante-mesozoicas, da Meseta Ibérica e corre sobre formações de xistos argilosos na região da fronteira Espanha-Portugal. Estes xistos do bordo da Meseta foram formadas por metamorfismo do relevo antigo e, nomeadamente em Nisa, contêm depósitos de Urânio disseminados em superfície. Alguns kms a jusante de Nisa, o Tejo recebe a descarga do rio Zêzere e continua o percurso atravessando a bacia sedimentar terciária e quaternária, até Lisboa. O rio Zêzere tem nascente no maciço granítico da Serra da Estrela, ao norte da qual são explorados vários depósitos uraníferos. A nascente do Zêzere está a 1800 m de altitude e, no seu primeiro troço, o Zêzere é uma ribeira de montanha típica com correntes de 0.2-2 m/s, escoando-se num vale bem encaixado nos granitos até chegar à região dos xistos e à bacia Terciária do rio Tejo. Como os radionuclidos primordiais presentes na água dos rios terão origem nas camadas geológicas do leito, procedemos ao estudo conjunto das bacias do Zêzere e do Tejo afim de nos permitir a cobertura de uma maior diversidade de condições geoquímicas.

## 2. Materiais e Métodos

A colheita de amostras foi feita em Dezembro 1988-Janeiro 1989, num período sem chuvas abundantes e sem inundações (Fig. 1). As amostras de água foram filtradas no local da colheita, utilizando um gerador eléctrico, bomba peristáltica, sistemas de filtração de grande volume e filtros de membrana Millipore de 0.45  $\mu\text{m}$  de porosidade. As amostras de água (fase solúvel) e os filtros com a matéria em suspensão (fase particulada) foram analisados separadamente usando traçadores internos (os isótopos artificiais  $^{232}\text{U}$ ,  $^{229}\text{Th}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{209}\text{Po}$ , e  $\text{Pb}$  estável) adicionados às amostras no início da análise. O procedimento analítico incluiu separação radioquímica dos radioelementos, electrodeposição, e medida por espectrometria alfa com detectores de silício (Carvalho 1997). O  $^{222}\text{Rn}$ , gás radioactivo descendente do  $^{226}\text{Ra}$ , foi determinado por espectroscopia de cintilação líquida.

## 3. Resultados

O Urânio dissolvido tem concentração máxima na água da nascente do Zêzere e decresce muito rapidamente ao longo do primeiro troço do rio, atingindo valores muito baixos já fora do maciço granítico (Tabela 1). No Tejo as concentrações são mais elevadas, provavelmente devido ao Urânio dos terrenos da região de Nisa, mas estas concentrações decrescem para jusante, nomeadamente devido ao efeito de diluição com a água dos rios tributários. A contribuição do Urânio particulado para a actividade por unidade de volume é muito variável, 0.3 a 45%, dependendo da carga de matéria em suspensão. Por sua vez, a concentração de Urânio nas partículas em suspensão decresce de montante para jusante o que corresponde à dissolução gradual do Urânio. Na zona de ribeira de montanha do Zêzere, a repartição do Urânio entre fase solúvel e fase particulada tem coeficientes de distribuição ( $K_d$ ) de  $0.6-5 \times 10^4$ , enquanto que na água

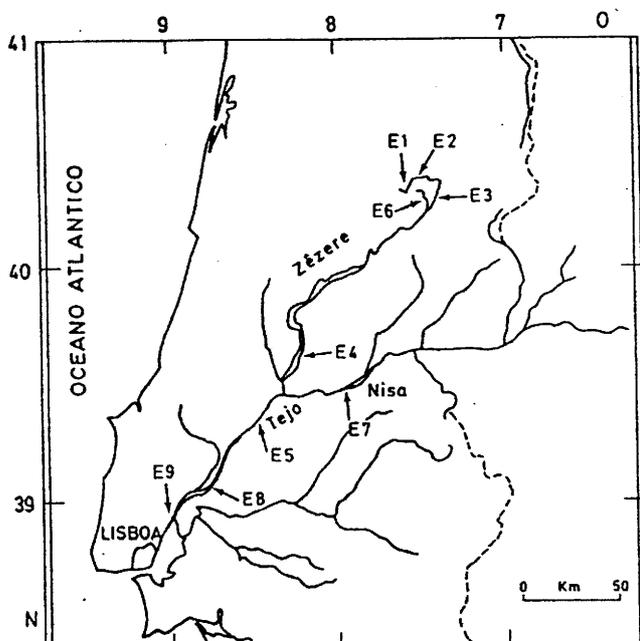


Figura 1. Estações de colheita de amostras de água. E1, nascente do Zêzere; E2, vale de Manteigas; E3, Belmonte; E6, Ribeira do Paúl; E4, Albufeira de Castelo do Bode; E7, Barragem de Belver; E5, Chamusca; E8, Valada do Ribatejo; E9, Vila Franca de Xira.

dos rios correndo sobre os substratos xistentos e aluviais da planície o  $K_d$  médio é de  $3 \times 10^3$  ( $1-5 \times 10^3$ ), descendo no estuário do Tejo para  $2 \times 10^3$  (Carvalho 1997).

O Tório (Th) nas águas doces inclui os isótopos da série do Urânio ( $^{234}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ) e da série do Tório ( $^{232}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ). Medimos o  $^{232}\text{Th}$  e o  $^{230}\text{Th}$ . O  $^{232}\text{Th}$  está presente na água dos rios geralmente em concentrações de actividade mais baixas do que as do  $^{230}\text{Th}$ , tanto na fase solúvel como na fase particulada. Tendo em conta as constantes de desintegração respectivas as suas concentrações em massa são muito diferentes: cerca de  $10^{-2} \mu\text{g/L}$  para o  $^{232}\text{Th}$  e  $10^{-7} \mu\text{g/L}$  para o  $^{230}\text{Th}$  na fase solúvel. Pela razão  $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$  verifica-se que o Urânio na fase solúvel é sempre  $1-3 \times 10^2$  mais abundante que o  $^{232}\text{Th}$ . Em contrapartida, nas partículas, com excepção do Zêzere, a razão  $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$  é geralmente menor que 1 ( $\sim 0.5$ ). Estas razões traduzem a maior solubilidade do Urânio em comparação com o Tório, o que se torna progressivamente mais marcado no rio Tejo e no estuário. No rio Zêzere, em especial na zona de ribeira de montanha (estações E1 a E3), a matéria em suspensão inclui detritos graníticos e portanto a razão  $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$  é muito maior que 1 e traduz a dominância da série do Urânio nas rochas graníticas.

O  $^{226}\text{Ra}$  em solução tem na nascente (estação E1) uma concentração de  $5 \text{ mBq/L}$ , devido à dissolução do  $^{226}\text{Ra}$  dos granitos no aquífero subterrâneo. Esta concentração cai para valores muito mais baixos com o afastamento da região granítica (Tabela 1). A fracção do  $^{226}\text{Ra}$  nas partículas é muito variável nas águas doces, dependendo da composição da matéria em suspensão.

O Radão ( $^{222}\text{Rn}$ ) foi medido em concentrações muito elevadas,  $1-5 \times 10^4 \text{ mBq/L}$ , na nascente do Zêzere (Tabela 1). Valores desta ordem de grandeza são frequentes em águas de maciços graníticos devido à dissolução do  $^{222}\text{Rn}$  exalado pela rocha granítica no

aquífero subterrâneo. Após o afloramento em superfície, o arejamento da água da ribeira permite o escape deste gás radioactivo para a atmosfera originando o rápido decréscimo das concentrações de radão na água. Enquanto que na zona de montanha a razão  $^{222}\text{Rn}/^{226}\text{Ra}$  na água do Zêzere é sempre muito maior que 1, na planície esta razão decresce substancialmente.

As concentrações do  $^{210}\text{Pb}$  em solução decrescem também desde a nascente do Zêzere até à planície do Tejo, mantendo-se depois aproximadamente constantes até ao estuário. As concentrações do  $^{210}\text{Po}$  são muito mais baixas que as do  $^{210}\text{Pb}$  e a maior parte do  $^{210}\text{Po}$  no meio aquático está sempre associada às partículas (Tabela 1) (Carvalho et al., 1999).

#### 4. Conclusões

O estudo da distribuição dos radionuclidos naturais na água dos rios Zêzere e Tejo permite-nos distinguir, com base nas concentrações e nas razões entre os radioisótopos, a zona de nascentes e de ribeira em montanha granítica, da zona de planície aluvial. Na zona granítica é a composição química da rocha que está na origem das elevadas concentrações de alguns radionuclidos. Em particular, a água da nascente do Zêzere contém elevadas concentrações de Urânio, Radão e Chumbo em solução, variando conforme a solubilidade dos radioelementos. Por outro lado, na zona da planície aluvial do Tejo, as concentrações dos radionuclidos baixam substancialmente e tendem para valores constantes. As características geoquímicas de cada elemento, em particular a sua reactividade com as partículas em suspensão, desempenham um papel essencial nesta estabilização das concentrações na fase solúvel. É assim que as concentrações do Rádio, do Chumbo e do Polónio decrescem para valores muito mais baixos que os medidos próximo das zonas uraníferas e no maciço granítico.

A observação de concentrações elevadas de radionuclidos naturais, especialmente nas águas de nascente no maciço granítico e em zonas próximas de terrenos uraníferos, sublinha a necessidade de proceder a uma escolha cuidadosa das fontes de abastecimento de águas de consumo público a fim de reduzir a exposição da população portuguesa à radioactividade. Este estudo da radioactividade nas águas, a nível nacional, está ainda por fazer mas é da maior importância para o controlo da qualidade da água.

#### 5. Referências

Carvalho F.P., J.M. Oliveira, G. Alberto (1999). Resíduos Industriais Fosfatados e Radioactividade no Estuário do Tejo. Actas desta Conferência.

Carvalho F.P., Distribution, cycling and mean residence time of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{210}\text{Po}$  in the Tagus estuary. *The Science of the Total Environment* 196 (1997) 151-161.

Tabela 1. Concentrações dos radionuclídeos das séries naturais do Urânio e do Tório dissolvidos na água do Zêzere e do Tejo (< 0.45 µm).

Estações	238U mBq/L	234U mBq/L	232Th µBq/L	230Th µBq/L	226Ra mBq/L	222Rn mBq/L	210Pb mBq/L	210Po mBq/L
E1	96±4	81±3	64±14	287±36	5.0±0.1	5x10 <sup>4</sup>	11±2	0.42±0.08
E2	9.5±0.4	9.6±0.4	36±7	665±66	0.88±0.02	1.5x10 <sup>4</sup>	17±6	0.95±0.37
E6	-	-	-	-	1.04±0.03	2.7x10 <sup>3</sup>	3±2	0.04±0.02
E3	5.0±0.2	5.2±0.3	20±19	120±27	1.48±0.04	1.5x10 <sup>4</sup>	6±3	0.38±0.05
E4	0.31±0.02	0.31±0.02	127±93	243±110	0.27±0.01	<8x10 <sup>2</sup>	2.1±0.1	0.10±0.09
E7	31.5±1.5	33.5±1.6	-	-	7.9±0.2	--	2.3±0.5	0.67±0.03
E5	15.9±0.7	16.7±0.7	165±113	297±139	0.75±0.02	<8x10 <sup>2</sup>	1.8±0.5	0.50±0.36
E8	6.1±0.3	8.9±0.5	-	-	0.88±0.02	-	0.8±0.33	0.59±0.05
E9	18.5±0.9	20.8±0.9	13±16	142±23	1.22±0.03	-	1.3±0.1	1.45±0.09