



MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia

INSTITUTO TECNOLÓGICO E NUCLEAR

Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear

Relatório DPRSN-A, nº 6

Radioactividade no Rio Águeda Relacionada com a Exploração de Urânio

J. M. M. Oliveira e M. M. Sequeira

26 de Outubro de 2001

Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear

Director: Fernando Piedade Carvalho
Endereço: Estrada Nacional 10, 2686-953 Sacavém, Portugal
Telefone: +351 - 21 994.62.91
Fax: +351 - 21 994.19.95
e-mail: Dprsn@itn.pt
Pág. web <http://www.itn.pt>

Ficha Técnica

Titulo	Radioactividade no Rio Águeda Relacionada com a Exploração de Urânio
Autoria	J. M. M. Oliveira e M. M. Sequeira
Edição	Instituto Tecnológico e Nuclear Dep. Protecção Radiológica e Segurança Nuclear
Tiragem	15 exemplares
ISBN	972-8660-05-7
Depósito Legal	159921/00
Data da Edição	26 de Outubro de 2001
Responsável pela edição	M ^a Luísa Pedro

ÍNDICE

Abstract	1
Resumo	2
1. Introdução	2
2. Recolha, preparação de amostras e medidas de Radioactividade	3
3. Apresentação e discussão dos resultados	4
3.1 ^{226}Ra e Urânio na água e matéria em suspensão	4
3.2 ^{226}Ra e Urânio nos sedimentos	8
3.3 ^{226}Ra e Urânio no músculo de peixe	9
3.4 ^{226}Ra e Urânio na água de consumo de Barca d'Alva	10
4. Conclusões	11
Referências	11

RADIOACTIVIDADE NO RIO ÁGUEDA RELACIONADA COM A EXPLORAÇÃO DE URÂNIO

ABSTRACT

Effluents From Spanish Uranium mines or facilities for Uranium ore treatments are directly or indirectly rejected to Águeda River.

The eventual radioactive contamination of the Águeda River might be due to the presence of Uranium and Radium. These are the most important radionuclides resulting from the chemical treatments of Uranium ores.

Uranium and Radium chemical analysis followed by alpha spectrometry were carried out in suspended matter, water and fish samples, and gamma spectrometry for Radium in sediment samples of the Águeda, Douro and Côa Rivers, using the latter as reference. Results reported here concern analysis carried out 1996 to 1998.

RADIOACTIVIDADE NO RIO ÁGUEDA RELACIONADA COM A EXPLORAÇÃO DE URÂNIO

RESUMO

O rio Águeda tem a sua origem em Espanha, onde recebe directa ou indirectamente efluentes provenientes de minas e de instalações de tratamento de minério de urânio, fazendo no seu troço final fronteira com Portugal e confluindo no rio Douro junto à povoação de Barca d'Alva. A eventual contaminação radioactiva do rio ocorrerá por urânio e rádio, que são os radionuclidos mais significativos na exploração deste minério. Apresentam-se e discutem-se neste trabalho as concentrações de urânio e rádio em solução na água, na matéria em suspensão, sedimentos e peixes dos rios Águeda, Douro e Côa, tendo este último sido tomado como referência. Os resultados reportam-se aos anos de 1996 a 1998.

PALAVRAS CHAVE: Radioactividade, urânio, rádio, Águeda, Douro

1 INTRODUÇÃO

O rio Águeda tem a sua nascente em Espanha, flui para Norte passando perto de Ciudad Rodrigo, e fazendo, no seu troço final, fronteira entre Espanha e Portugal até à confluência com o rio Douro, junto à povoação de Barca d'Alva. A eventual contaminação radioactiva do rio pode ocorrer por urânio e rádio, que são os radionuclidos mais significativos na exploração do minério de urânio, a qual tem lugar em Espanha.

Colheram-se amostras nos rios Águeda, Douro e Côa. No rio Douro pretendeu-se avaliar o impacto que o rio Águeda eventualmente exerce sobre o Douro. Não tendo sido possível colher amostras no rio Águeda, a montante das minas de urânio, por estas se situarem em território espanhol, escolheu-se como referência o rio Côa. Com efeito este rio não sofre influência de actividades mineiras, tem origem na mesma região que o rio Águeda seguindo ambos percursos paralelos. As respectivas bacias hidrográficas ocupam terrenos com composições geológicas semelhantes as suas confluências com o rio Douro, são relativamente próximas.

No Rio Águeda foram seleccionados dois pontos de colheita assim como no rio Côa (Fig. 1).

No Rio Douro escolheram-se também dois pontos de amostragem, a montante e a jusante da confluência do rio Águeda (Fig. 1).



Fig. 1 - Locais de colheita de amostras nos rios Águeda, Douro e Côa.

No Rio Douro escolheram-se também dois pontos de amostragem, a montante e a jusante da confluência do rio Águeda (Fig. 1).

Colheu-se também água da rede de abastecimento público de Barca d'Alva. A captação de água que abastece esta população fica situada perto da margem esquerda do rio Douro, a curta distância da confluência com o rio Águeda, para jusante (cerca de 200 metros), pelo que em caso de contaminação radioactiva do rio Águeda a água consumida pela população poderia eventualmente ser afectada.

No ano de 1996 a colheita de amostras realizou-se mensalmente para águas, matéria em suspensão e peixes, e trimestralmente para sedimentos. No ano de 1997 e 1998 a colheita de amostras, realizou-se trimestralmente. Os resultados reportam-se aos anos de 1996 a 1998.

2 RECOLHA, PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS E MEDIDAS DE RADIOACTIVIDADE

Nos locais de amostragem foram recolhidas para análise águas, matéria em suspensão e sedimentos. Foram também obtidas amostras de peixes (*Barbus sp.*) nos rios Águeda e Douro. No rio Douro os peixes foram capturados a montante do ponto Douro 1 (Fig. 1) e no rio Águeda a montante do ponto Águeda 2 (Fig. 1). O peso total de cada amostra de peixe foi de ~5 kg.

A água recolhida foi filtrada no local da colheita (30 l) através de membranas de nitrato de celulose de 0,45 µm de porosidade, para contentores de polietileno, e acidificada a pH ~2 com HNO₃ concentrado. Para as análises de urânio foi adicionado o traçador (²³²U) no local da colheita. Considera-se matéria em suspensão o que ficou retido no filtro.

Os sedimentos foram colhidos por arraste de um cone de "Berthois" no leito dos rios, de modo a recolher apenas a camada superficial do sedimento.

Para a determinação de urânio e ²²⁶Ra nas águas (matéria em suspensão + dissolvido), peixes e urânio nos sedimentos, os métodos analíticos utilizados foram o de separação e purificação radioquímica através de resinas de troca iónica, na presença de traçadores radioactivos (²³²U para as análises de urânio e ²²⁴Ra para as análises de ²²⁶Ra). Os elementos a medir foram depositados por electrodeposição catódica em discos de aço inoxidável.

As medidas foram efectuadas por espectrometria alfa em sistema EG&G Ortec, composto por detectores semicondutores de Si associados a um analisador multicanal.

O ²²⁶Ra nos sedimentos foi medido por espectrometria gama, sistema este composto por detectores de Ge hiperpuro, associados a um analisador multicanal (CANBERRA).

O controlo de qualidade analítico é assegurado através da participação regular em exercícios de intercalibração promovidos pela Agência Internacional de Energia Atómica (AIEA).

3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 ^{226}Ra e Urânio na água e matéria em suspensão

A concentração destes radionuclídeos nas águas (dissolvido + suspensão) em dois pontos de colheita dos rios Águeda e Côa, encontram-se nos Quadros I e II.

Os resultados dos outros pontos de colheita nos dois rios confirmam estes valores. A concentração ^{226}Ra em solução na água dos rios, nos três anos em estudo variou de 1,2 a 10,7 mBq l^{-1} no rio Águeda e de 1,2 a 16,9 mBq l^{-1} no rio Côa. Comparando as concentrações das amostras mensais nos dois rios (Fig. 2), verifica-se que não diferem substancialmente, devendo-se as oscilações de actividade do ^{226}Ra à variação dos caudais com as consequentes diluições do ^{226}Ra em solução.

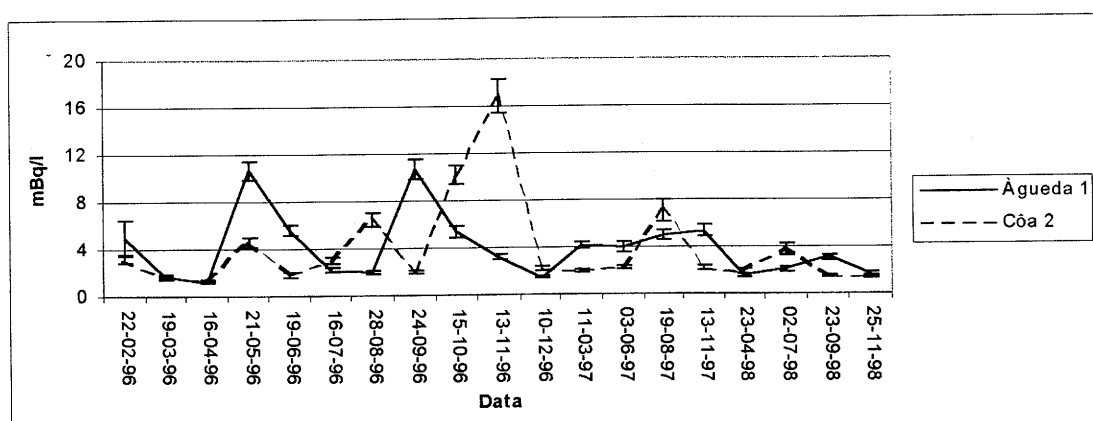


Fig. 2 - Comparação da concentração de ^{226}Ra ($\text{mBq l}^{-1} \pm 1\sigma$) em solução nos pontos de colheita Águeda 1 e Côa 2 nos anos de 1996 a 1998.

No mesmo período de amostragem a concentração de urânio em solução variou de 18 a 194 mBq l^{-1} no rio Águeda e de 8 a 42 mBq l^{-1} no rio Côa. Pela comparação das concentrações mensais nos dois rios nos pontos Águeda 1 e Côa 2 (Fig. 3), pode-se verificar que no segundo semestre de 1996, no ano de 1997 e nas colheitas de Setembro e Novembro de 1998 a concentração de urânio no rio Águeda foi substancialmente superior à do Côa, em média por um factor de 5.

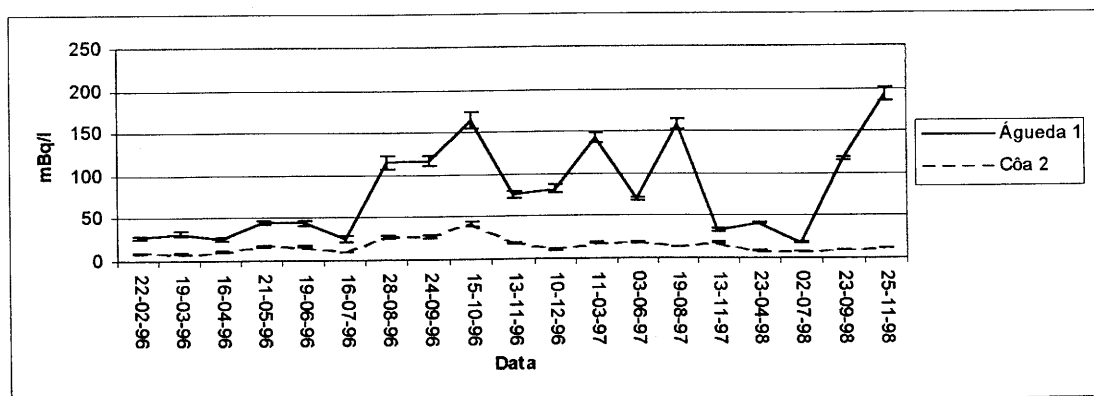


Fig. 3 - Comparação da concentração de urânio total ($\text{mBq l}^{-1} \pm 1\sigma$) em solução nos pontos de colheita Águeda 1 e Côa 2 nos anos de 1996 a 1998.

Quadro I - Concentração de ^{226}Ra e de urânio total na água (dissolvido + suspensão) nas águas dos rios Águeda e Côa - 1996.

Data e Local da Colheita	mg l ⁻¹ (susp.)	^{226}Ra		U total		%*
		Solução mBq l ⁻¹ ± 1σ	Solução mBq l ⁻¹ ± 1σ	Suspensão		
				mBq l ⁻¹ ± 1σ	Bq kg ⁻¹ ± 1σ	
22.2.96						
Águeda 1	0,4	5,0 ± 1,4	28 ± 2	10,0 ± 0,7	25156 ± 1683	(26)
Côa 1	1,2	3,2 ± 0,3	9 ± 1	2,0 ± 0,1	1688 ± 116	(18)
19.03.96						
Águeda 1	2,1	1,7 ± 0,1	32 ± 2	3,1 ± 0,2	1484 ± 101	(9)
Côa 1	1,4	1,6 ± 0,1	8 ± 1	2,1 ± 0,1	1497 ± 102	(21)
16.04.96						
Águeda 1	3,6	1,2 ± 0,1	25 ± 2	4,9 ± 0,4	1349 ± 97	(16)
Côa 2	0,4	1,4 ± 0,1	10 ± 1	4,0 ± 0,2	1572 ± 107	(28)
21.5.96						
Águeda 1	20,6	10,7 ± 0,8	45 ± 3	14,8 ± 0,7	720 ± 36	(25)
Côa 2	11,2	4,6 ± 0,4	18 ± 1	6,9 ± 0,2	614 ± 32	(28)
19.6.96						
Águeda 1	4,8	5,6 ± 0,4	44 ± 2	6,2 ± 0,4	1296 ± 76	(12)
Côa 2	5,4	1,8 ± 0,2	16 ± 1	4,1 ± 0,3	766 ± 46	(20)
16.7.96						
Águeda 1	3,4	2,4 ± 0,2	26 ± 4	2,8 ± 0,2	810 ± 45	(10)
Côa 2	6,9	3,0 ± 0,3	10 ± 1	2,8 ± 0,2	405 ± 24	(22)
28.8.96						
Águeda 1	2,8	2,0 ± 0,2	115 ± 7	1,6 ± 0,1	563 ± 36	(1)
Côa 2	24,4	6,4 ± 0,6	27 ± 2	18,8 ± 1,1	770 ± 44	(41)
24.9.96						
Águeda 1	2,5	10,7 ± 0,9	116 ± 6	3,6 ± 0,2	1449 ± 76	(3)
Côa 2	5,5	2,0 ± 0,2	28 ± 2	2,9 ± 0,2	1082 ± 58	(9)
15.10.96						
Águeda 1	1,9	5,4 ± 0,5	164 ± 9	2,2 ± 0,1	2317 ± 131	(1)
Côa 2	8,6	10,2 ± 0,8	42 ± 2	4,9 ± 0,3	569 ± 31	(10)
13.11.96						
Águeda 1	1,1	3,2 ± 0,2	77 ± 4	2,8 ± 0,2	2549 ± 138	(4)
Côa 2	5,1	16,9 ± 1,4	19 ± 1	1,7 ± 0,1	338 ± 19	(8)
10.12.96						
Águeda 1	1,8	1,5 ± 0,1	83 ± 5	6,1 ± 0,3	3389 ± 176	(7)
Côa 2	6,2	2,2 ± 0,2	11 ± 1	2,7 ± 0,1	441 ± 22	(20)

* Percentagem da actividade da matéria em suspensão na actividade total (dissolvido + suspensão).

Quadro II - Concentração de ^{226}Ra e de urânio total na água (dissolvido + suspensão) nas águas dos rios Águeda e Côa - 1997e 1998.

Data e Local da Colheita	^{226}Ra						U total							
	Sol.		Susp.		Bq kg $^{-1}\pm 1\sigma$	%*	Sol.		Susp.		mg l $^{-1}$	NO $_3^-$ mg l $^{-1}$	SO $_4^{2-}$ mg l $^{-1}$	PO $_4^{3-}$ mg l $^{-1}$
	mBq l $^{-1}\pm 1\sigma$	mBq l $^{-1}\pm 1\sigma$	mBq l $^{-1}\pm 1\sigma$	mBq l $^{-1}\pm 1\sigma$			mBq l $^{-1}\pm 1\sigma$	Bq kg $^{-1}\pm 1\sigma$	%*	mBq l $^{-1}\pm 1\sigma$				
11.3.97														
Águeda 1	2,3	4,1 ± 0,3			143 ± 6		6,1 ± 0,3	2659 ± 136	(4)	5,7	0,9	12,7	nd	
Côa 2	3,8	2,0 ± 0,2			18 ± 1		3,8 ± 0,2	1006 ± 58	(17)	8,4	1,2	3,9	nd	
3.6.97														
Águeda 1	18,9	4,0 ± 0,4			71 ± 3		29,2 ± 1,4	1544 ± 76	(29)	6,6	2,3	12,9	nd	
Côa 2	18,6	2,3 ± 0,2			19 ± 1		6,9 ± 0,4	371 ± 19	(27)	10,4	3,7	7,3	nd	
19.8.97														
Águeda 1	7,7	5,0 ± 0,4	1,4 ± 0,1	186 ± 10	158 ± 6	(22)	10,1 ± 0,4	1317 ± 50	(6)	4,2	nd	13,5	nd	
Côa 2	6,6	7,1 ± 0,9	0,6 ± 0,0	96 ± 7	14 ± 1	(8)	1,7 ± 0,1	255 ± 12	(11)	4,4	1,0	3,2	0,7	
13.11.97														
Águeda 1	94,3	5,3 ± 0,5	3,4 ± 0,9	36 ± 4	33 ± 1	(39)	37,3 ± 1,8	396 ± 18	(53)	7,0	7,1	6,9	nd	
Côa 2	15,0	2,2 ± 0,2	2,8 ± 0,3	185 ± 19	18 ± 1	(56)	13,0 ± 0,5	867 ± 34	(42)	9,6	4,8	5,6	nd	
23.4.98														
Águeda 1	5,0	1,6 ± 0,1	0,5 ± 0,1	94 ± 12	42 ± 2	(24)	7,7 ± 0,3	1536 ± 54	(15)					
Côa 2	5,4	1,9 ± 0,1	1,6 ± 0,2	290 ± 30	8 ± 1	(46)	6,0 ± 0,2	1118 ± 43	(43)					
2.7.98														
Águeda 1	4,4	2,1 ± 0,2	0,7 ± 0,1	168 ± 16	18 ± 1	(25)	5,9 ± 0,2	1347 ± 49	(25)					
Côa 2	33,4	3,8 ± 0,5	3,8 ± 0,3	114 ± 10	8 ± 1	(50)	9,4 ± 0,4	280 ± 11	(54)					
23.9.98														
Águeda 1	6,9	3,1 ± 0,2	2,6 ± 0,3	379 ± 46	117 ± 2	(46)	8,8 ± 0,4	1280 ± 53	(7)					
Côa 2	12,2	1,5 ± 0,1	4,1 ± 0,5	334 ± 43	10 ± 1	(73)	4,3 ± 0,2	355 ± 16	(30)					
25.11.98														
Águeda 1	0,9	1,7 ± 0,1	0,5 ± 0,1	531 ± 58	194 ± 7	(23)	1,4 ± 0,1	1540 ± 67	(1)					
Côa 2	2,0	1,4 ± 0,1	0,9 ± 0,1	446 ± 56	12 ± 1	(39)	1,2 ± 0,1	602 ± 31	(9)					

* Percentagem da actividade da matéria em suspensão na actividade total (dissolvido + suspensão).

nd - não detectado.

Considerando a concentração de urânio do rio Côa como representativa do fundo radioactivo natural, pode-se considerar que o incremento da concentração de urânio observado no rio Águeda se deva a actividades de origem antropogénica.

Este aumento poderia ser devido à rejeição de efluentes das minas contendo urânio, ou da lixiviação de solos eventualmente tratados com adubos fosfatados, adubos estes que contêm elevadas concentrações em urânio [Carvalho, 1991].

No ano de 1997 determinaram-se as concentrações dos principais iões em solução na água dos dois rios (no Quadro II apresentam-se unicamente os aniões). A presença de fosfatos em solução só foi detectada na colheita de Agosto no rio Côa, não afectando contudo a concentração de urânio em solução naquele rio.

Relacionaram-se as concentrações do ião sulfato em solução com as concentrações de urânio em solução nas águas, em todos os pontos de colheita dos dois rios (Fig. 4).

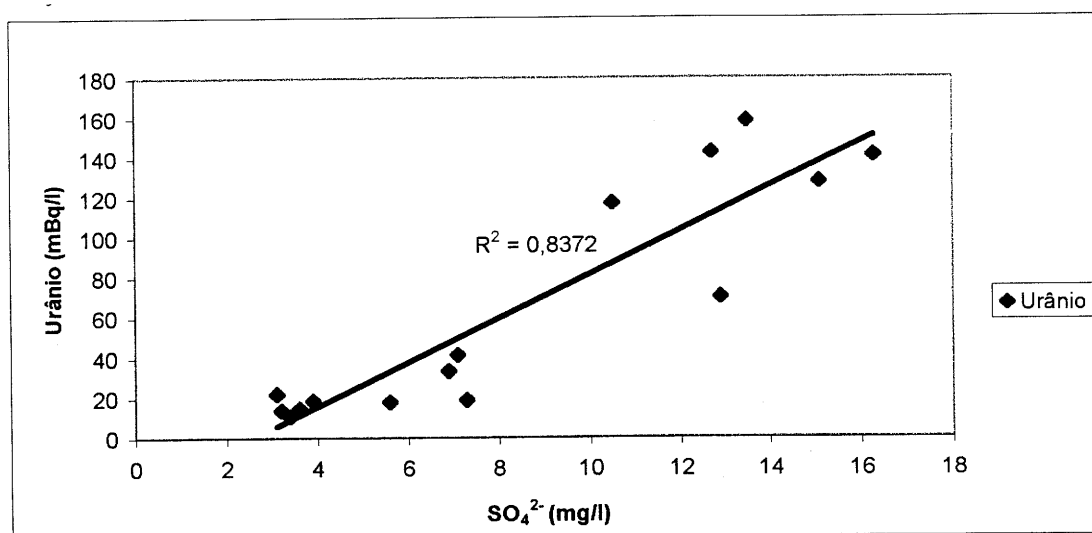


Fig.4- Regressão linear da concentração de urânio em solução (mBq l^{-1}) com a concentração do ião sulfato (mg l^{-1}) na água dos rios Águeda e Côa no ano de 1997.

Verifica-se que o aumento de concentração de urânio em solução tem uma correlação positiva com a concentração do ião sulfato ($R^2 = 0,8372$). Este aumento da concentração de urânio em solução no rio Águeda poderá ser devido à rejeição de efluentes industriais contendo ácido sulfúrico, que em solução poderá redissolver o urânio contido nos sedimentos, ou devido à rejeição de efluentes das minas de urânio situadas em Espanha, contendo sulfato de urânio, visto que é utilizado ácido sulfúrico na extracção e concentração do urânio.

A contribuição da fracção sólida para a actividade total (dissolvido + suspensão) depende fundamentalmente da quantidade de matéria em suspensão em presença (Quadros I e II).

No ano de 1997 as concentrações de urânio em solução no rio Águeda poderão ter influenciado as concentrações de urânio em solução no rio Douro (Fig. 5). Com efeito, as concentrações medidas no rio Douro a jusante da confluência do Águeda são sempre superiores às medidas a montante da mesma confluência.

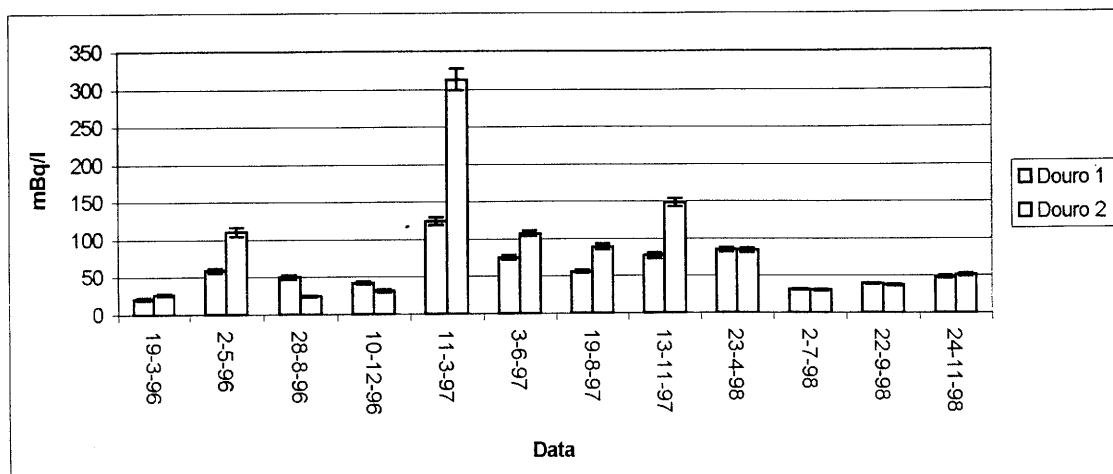


Fig.5 - Comparação da concentração de urânio ($\text{mBq l}^{-1} \pm 1\sigma$) em solução na água do rio Douro a montante (Douro 1) e a jusante (Douro 2) da confluência com o rio Águeda nos anos de 1996 a 1998.

3.2 ^{226}Ra e Urânio nos sedimentos

A concentração de ^{226}Ra e Urânio em solos e sedimentos totais recolhidos nos pontos de colheita dos três rios em estudo estão dentro dos limites referenciados para os solos graníticos comuns [Oliveira e Sequeira, 1997, 1998, 1999].

No Quadro III mostra-se a concentração média nos três anos de colheita, na fracção $< 75 \mu\text{m}$ em cada um dos pontos de colheita dos três rios.

Quadro III - Concentração média de ^{226}Ra e de urânio na fracção $< 75 \mu\text{m}$ nos solos e sedimentos dos rios Águeda, Douro e Côa ($\text{Bq kg}^{-1} \pm 1\sigma$).

Local da colheita	Sedimentos ($n=10$)		Solo ($n=1$)
	^{226}Ra ^{a)}	Urânio ^{a)}	Urânio ^{b)}
Águeda 1	106 ± 32	396 ± 94	539 ± 28
Águeda 2	71 ± 5	256 ± 64	191 ± 11
Douro 1	135 ± 38	259 ± 140	132 ± 7
Douro 2	93 ± 28	265 ± 151	189 ± 10
Côa 1	235 ± 53	479 ± 184	541 ± 27
Côa 2	232 ± 139	508 ± 214	66 ± 4

^{a)} Desvio padrão da média; ^{b)} erro estatístico da medida.

Verifica-se que a radioactividade dos solos e sedimentos não diferem substancialmente, sugerindo que os sedimentos dos rios serão essencialmente idênticos aos solos das zonas circundantes. É de realçar, no entanto, que as concentrações de ^{226}Ra e urânio nos sedimentos do rio Côa são superiores às do rio Águeda.

3.3 ^{226}Ra e Urânio no músculo de peixes (*Barbus sp*)

A concentração média de ^{226}Ra no músculo de barbos (*Barbus sp*) dos rios Águeda e Douro nos anos de 1997 e 1998 foi de 40 ± 11 e de 40 ± 13 mBq kg^{-1} fresco, respectivamente, não se verificando diferenças significativas entre as amostras dos dois rios e entre os diversos períodos de colheita (Fig. 6).

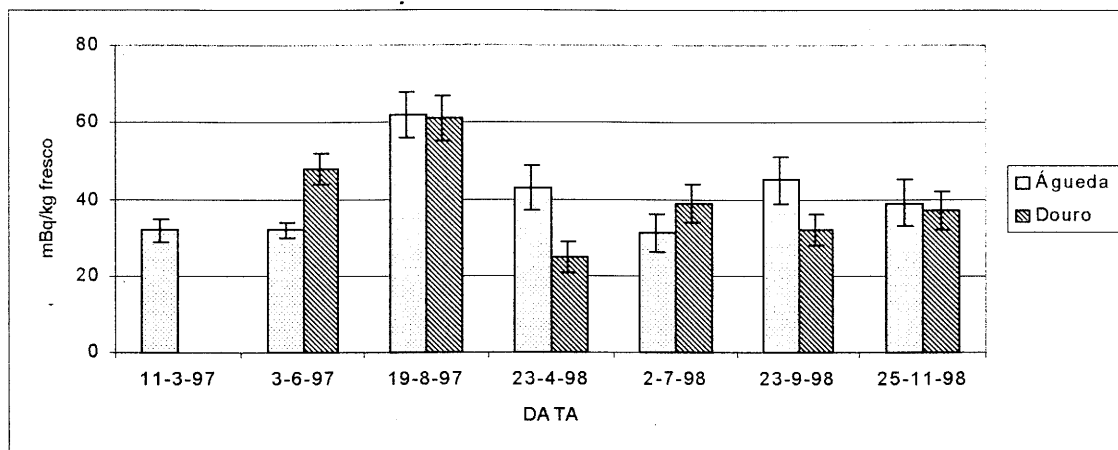


Fig. 6 - Comparação da concentração de ^{226}Ra ($\text{mBq kg}^{-1} \pm 1\sigma$ fresco) no músculo de barbos (*Barbus sp*) capturados nos rios Águeda e Douro nos anos 1997 - 1998.

A concentração média de urânio no músculo dos mesmos peixes nos anos de 1996, 1997 e 1998 foi de 82 ± 59 mBq kg^{-1} fresco no rio Águeda e de 52 ± 18 mBq kg^{-1} fresco no rio Douro, e de um modo geral não se encontraram diferenças importantes entre os dois rios. No entanto, comparando as concentrações mensais nos períodos amostrados (Fig. 7) verifica-se que no primeiro semestre de 1996, no mês de Agosto do mesmo ano e na colheita de Novembro de 1998, se registaram ligeiras diferenças, não excedendo mesmo assim um factor de 3.

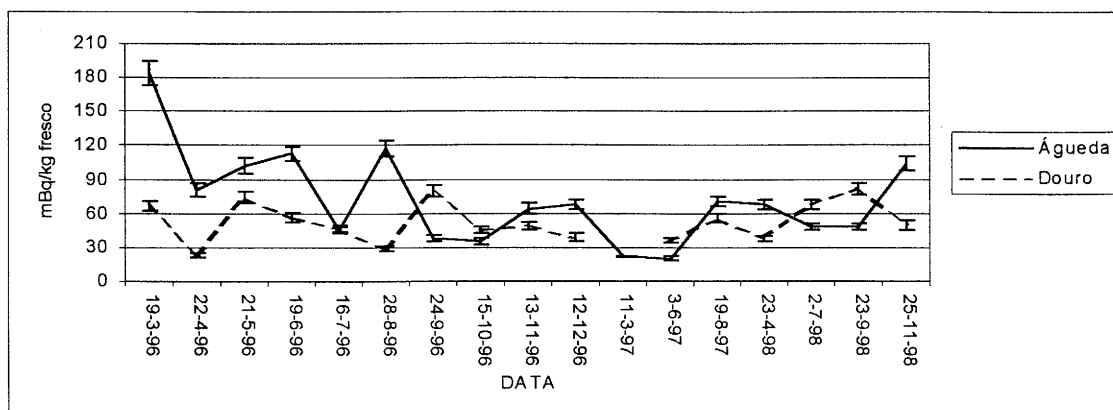


Fig. 7 - Comparação da concentração de urânio ($\text{mBq kg}^{-1} \pm 1\sigma$ fresco) no músculo de barbos (*Barbus sp*) nos rios Águeda e Douro nos anos de 1996-1998.

Considerando um consumo médio de 30 kg anuais per capita de peixes do rio Águeda (valor calculado por excesso), a contribuição por ingestão de ^{226}Ra e urânio no músculo dos peixes, para a dose efectiva anual para a população adulta é de $0,5 \times 10^{-3}$ mSv ($0,4 \times 10^{-3}$ para o ^{226}Ra e $0,1 \times 10^{-3}$ para o urânio).

3.4 ^{226}Ra e urânio na água de consumo de Barca d'Alva

A concentração média de ^{226}Ra na água de consumo de Barca d'Alva, nos anos de 1996 a 1998, foi de $4,3 \pm 1,0 \text{ mBq l}^{-1}$ (1 sd), não se verificando grandes oscilações conforme se pode verificar na Fig. 8.

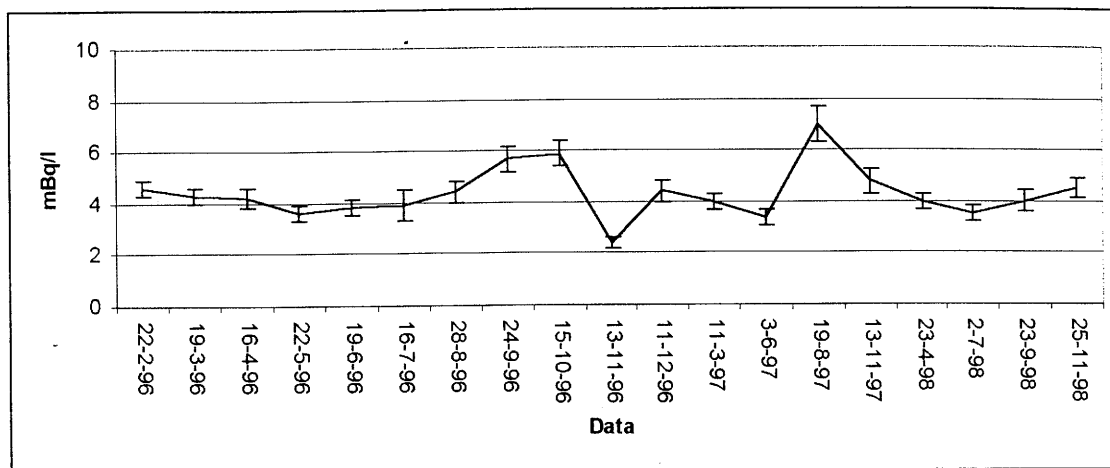


Fig. 8 - Concentração de ^{226}Ra ($\text{mBq l}^{-1} \pm 1\sigma$) na água de consumo de Barca d'Alva, nos anos de 1996 a 1998.

A concentração média de urânio na mesma água de consumo foi de $277 \pm 36 \text{ mBq l}^{-1}$ (1 sd), nos anos de 1996 a 1988, também não se verificando oscilações significativas durante o período de amostragem (Fig.9).

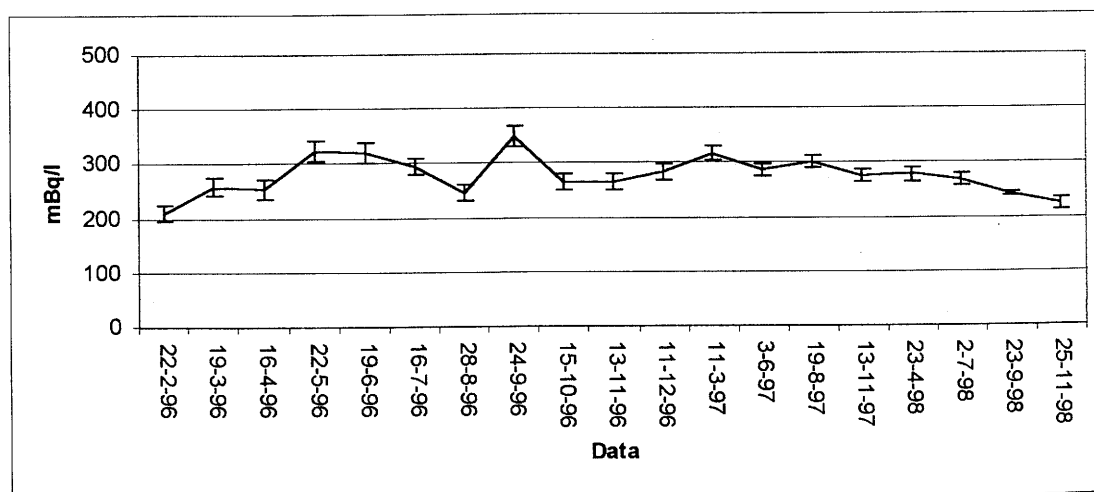


Fig. 9 - Concentração de urânio ($\text{mBq l}^{-1} \pm 1\sigma$) na água de consumo de Barca d'Alva, nos anos de 1996 a 1998.

Verifica-se, no entanto, que a concentração de urânio em solução na água de consumo é significativamente superior à dos rios Águeda e Douro (2 a 3 vezes), provavelmente devido à constituição geológica dos terrenos onde a água é captada, e não à influência directa dos rios. A contribuição por ingestão de ^{226}Ra e urânio em solução na água de consumo para a dose efectiva anual, para a população adulta, é de $0,012 \text{ mSv}$ ($0,001$ para o ^{226}Ra e $0,011$ para o urânio), representando $1,2 \%$ do limite (1 mSv) da dose efectiva anual para o público.

4. CONCLUSÕES

Dos três anos deste estudo pode-se concluir que no segundo semestre de 1996, no ano de 1997 e nas colheitas de Setembro e Novembro de 1998, ocorreram ligeiros incrementos dos níveis de urânio em solução na água do rio Águeda. Estes incrementos estão relacionados, pelo menos durante o ano de 1997, com a concentração de sulfatos em solução, o que sugere uma influência dos efluentes das minas de urânio situadas em Espanha, visto que o ácido sulfúrico é utilizado na extracção e concentração dos minérios de urânio.

Este acréscimo de radioactividade na água do Águeda não foi permanente, não se reflectiu na radioactividade dos sedimentos e peixes do rio, e aparenta ter tido pouca influência no rio Douro.

A variação das concentrações de urânio em solução nas águas dos rios Águeda e Douro não se reflectiu na concentração de urânio em solução na água de consumo de Barca d'Alva, que sendo mais elevada que na água dos dois rios, estará provavelmente relacionada com a constituição geológica dos terrenos onde a água é captada.

A contribuição por ingestão para a dose efectiva anual para a população adulta, pelo consumo de peixes do rio Águeda é de $0,5 \times 10^{-3}$ mSv ($0,4 \times 10^{-3}$ para o ^{226}Ra e $0,1 \times 10^{-3}$ para o urânio), e de 0,012 mSv (0,001 para o ^{226}Ra e 0,011 para o urânio), pelo consumo de água da rede de abastecimento público. Estes valores representam 1,2 % do limite (1 mSv) da dose efectiva anual para o público, sendo irrelevantes do ponto de vista de protecção radiológica.

Referências

- CARVALHO, F.P. 1991. Adubos fosfatados e radioactividade natural. *12º Encontro da Sociedade Portuguesa de Química*, Coimbra, 10-13 Março 1991, pp.451-454.
- OLIVEIRA, J.M. e SEQUEIRA, M.M. 1997. *Contribuição para o estudo da radioactividade natural no rio Águeda em 1996*. Direcção Geral do Ambiente, Dep. Legal 124718/98, Julho 1997.
- OLIVEIRA, J.M. e SEQUEIRA, M.M. 1998. *Radioactividade natural no rio Águeda - 1997*. Direcção Geral do Ambiente, Dep. Legal 136717/99.
- OLIVEIRA, J.M. e SEQUEIRA, M.M. 1999. *Radioactividade natural no rio Águeda - 1998*. Instituto Tecnológico e Nuclear, (em publicação).

Agradecimentos

Agradece-se ao Dr. Fernando P. Carvalho as sugestões efectuadas ao presente trabalho. À Sra. D. Georgeta Alberto pelas medidas dos iões em solução. Às Sras. D. Amélia Pereira e D. Maria dos Anjos Tavares pela preparação prévia de amostras para análise. À Sra. D. Maria Luísa Oliveira por todo o apoio informático necessário à elaboração deste trabalho.