

## **ÁGUA DESTINADA AO CONSUMO HUMANO**

### **RISCOS PARA A SAÚDE HUMANA RESULTANTES DA EXPOSIÇÃO A RADIOACTIVIDADE**

**NOTA TÉCNICA**

**Departamento de Saúde Pública**



## **NOTA TÉCNICA - RADIOACTIVIDADE**

### **Elaborado, em Janeiro de 2006, por:**

Vera Noronha, engenheira sanitária

vera.noronha@arslvt.min-saude.pt

### **Revisto, no ano de 2011, pelo Grupo Técnico Regional - Águas de Consumo Humano:**

Cândida Pité Madeira, engenheira sanitária - ARSLVT, IP

candidapite@arslvt.min-saude.pt

Carla Barreiros, engenheira sanitária - ARSLVT, IP

carla.barreiros@arslvt.min-saude.pt

Clara Garcia, médica de saúde pública - ACES Ribatejo, USP

mgarcia@cssantarem.srssantarem.min-saude.pt

Lina Guarda, médica de saúde pública - ACES Arco Ribeirinho, USP

linaguarda@csmoita.min-saude.pt

Vera Noronha, engenheira sanitária - ARSLVT, IP

vera.noronha@arslvt.min-saude.pt

## 1. Introdução

Os átomos da maior parte dos elementos químicos são estáveis, porém alguns transformam-se espontaneamente, emitindo radiações que são acompanhadas de libertação de energia. A esta propriedade dá-se o nome de *radioactividade*.

Este fenómeno acontece quando, um núcleo muito energético, por ter excesso de partículas ou de carga (figura 1), tende a estabilizar-se, emitindo algumas partículas (radiações  $\alpha$  e radiações  $\beta$ ).

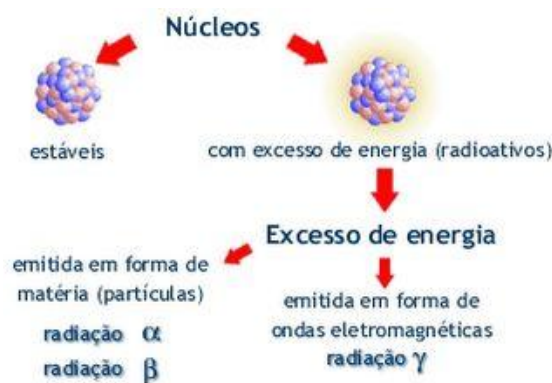


Figura 1- Esquema do fenómeno *Radioactividade*, [www.cnen.gov.br](http://www.cnen.gov.br)

A radiação alfa ( $\alpha$ ) surge como um dos processos de estabilização de um núcleo com excesso de energia, consistindo na emissão de um grupo de partículas positivas, constituídas por dois prótons e dois neutrões e da energia a elas associada (figura 2).

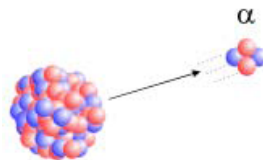


Figura 2 – Esquema da formação da radiação  $\alpha$

A radiação beta ( $\beta$ ) surge como outra forma de estabilização, quando existe no núcleo um excesso de neutrões em relação a prótons, ocorrendo então a emissão de uma partícula negativa, um electrão, resultante da conversão de um neutrão num próton (figura 3). É a partícula beta negativa ou, simplesmente, partícula beta. No caso de existir excesso de cargas positivas (prótons), é emitida uma partícula beta positiva, chamada positrão, resultante da conversão de um próton num neutrão. Portanto, a radiação beta é constituída por partículas emitidas por um núcleo, quando ocorre transformação de neutrões em prótons (partículas beta) ou de prótons em neutrões (positrões).

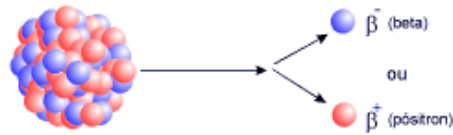


Figura 3 – Esquema da formação da radiação  $\beta$

A maior parte dos átomos que são emissores  $\alpha$  ocorrem naturalmente no ambiente e estas emissões são um fenómeno natural. O urânio 238 e o rádio 226 são emissores  $\alpha$ , assim como outros membros da série de decaimento do urânio. Todos eles estão presentes em quase todas as rochas, solos e água.

As partículas  $\beta$  são subatómicas, ejectadas do núcleo de alguns átomos radioactivos.

A unidade Sistema Internacional (SI) de radioactividade é o becquerel (Bq), em que 1 Bq corresponde a uma desintegração por segundo.

## 2. Breve referência à radioactividade na água para consumo humano

A contaminação radiológica das origens de água para consumo humano pode resultar de:

- Espécies radioactivas que ocorrem naturalmente, tais como os radionuclídeos naturais que existem nas séries de decaimento do urânio e do tório;
- Processos tecnológicos que envolvem materiais radioactivos naturais (actividades mineiras, processamento de areias minerais ou produção de fertilizantes de fosfatos);
- Utilização desprotegida de radionuclídeos artificiais em produção de energia nuclear, actividades médicas, de investigação, industriais e de disposição final de materiais radioactivos.

É no âmbito destas actividades que deve ser feita a prevenção da contaminação radioactiva da água destinada a consumo humano.

A contribuição da ingestão de água para a exposição total é muito diminuta e é devida em grande parte aos radionuclídeos naturais das séries de decaimento do urânio e do tório.

A radioactividade numa água para consumo humano decorre, como já foi referido, de origens naturais ou de descargas de materiais radioactivos no ambiente e pode ser avaliada globalmente pelas radiações  $\alpha$  total,  $\beta$  total e radionuclídeos (concretamente o trítio).

O radionuclídeo trítio entra no corpo humano através da ingestão de água e de alimentos, do ar e da pele. Apenas constitui perigo para a saúde humana se passar para o interior do corpo humano, porque ao decair emite partículas  $\beta$  de baixa energia sem qualquer radiação gama.

No subsolo, as rochas que contêm urânio estão permanentemente a emanar radão para a água com que estão em contacto.

### Controlo de radionuclídeos na água para consumo humano

A primeira acção consiste no despiste de radioactividade total a partir de radiações alfa e beta, sem identificação dos radionuclídeos específicos existentes na água, uma vez que a maior parte deles emitem radiações  $\alpha$  e  $\beta$ .

Para avaliar os riscos para a saúde humana decorrentes da radioactividade é necessário identificar as espécies radioactivas individuais (radionuclídeos: urânio, rádio, plutónio, cézio, etc.) presentes na água e determinar a respectiva concentração.

Para avaliar a qualidade radiológica de uma água para consumo humano, é necessário um acompanhamento analítico da radioactividade por um período alargado, no mínimo de 1 ano hidrológico. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), deve ser realizado um estudo para determinar a variação sazonal das concentrações dos radionuclídeos, abrangendo as diferentes condições climáticas. É recomendável repetir as determinações das actividades  $\alpha$  e  $\beta$  e só se qualquer desses valores ultrapassar os valores recomendados é que se faz a determinação dos radionuclídeos específicos para cálculo da Dose Indicativa Total (DIT)<sup>1</sup>, que serão definidos tendo em conta as informações relevantes sobre fontes de radioactividade que eventualmente possam afectar a origem de água.

Caso os resultados sejam inferiores aos respectivos valores paramétricos, é desnecessário o cálculo da DIT. Apenas quando o  $\alpha$  total ou o  $\beta$  total ultrapassem os valores paramétricos se calcula a DIT, pressupondo sempre este cálculo, o conhecimento dos radionuclídeos potencialmente presentes numa determinada origem de água.

Caso o cálculo da DIT seja feito apenas com base nos valores de  $\alpha$  total e  $\beta$  total, o seu valor é calculado por excesso, correspondendo ao seu limite máximo, não podendo ser comparado com o valor paramétrico da directiva, nem podendo tirar-se quaisquer ilações. Assim, um valor de DIT superior ao valor paramétrico não significa, só por si, que a água não é adequada para consumo humano, sob o ponto de vista radiológico.

---

<sup>1</sup> A dose indicativa total é a dose efectiva comprometida correspondente a um ano de incorporação, resultante de todos os radionuclídeos cuja presença na água foi detectada, quer a sua origem seja natural ou artificial, excluindo o trítio, o potássio 40, o radão e os produtos resultantes do decaimento do radão. A dose efectiva comprometida de cada nuclídeo,  $D_{ci}$ , expressa em Sv/ano é calculada pela seguinte expressão:

$$D_{ci} = C_i \times h_i \times q$$

Em que  $C_i$  é a concentração de actividade medida (Bq/L),  $h_i$  é o factor de conversão de dose ingerida para adulto (Sv/Bq) e  $q$  é o volume anual de dose ingerida. Os valores de  $C_i$  são medidos, os de  $h_i$  são actualizados periodicamente e encontram-se tabelados pela *International Commission on Radiological Protection – ICRP –* (publicações 68 e 72) e  $q$  é igual a 730L/ano (corresponde à ingestão, em média, de 2 litros de água por dia).

Quando se suspeitar da presença de radionuclídeos emissores de radiação  $\alpha$  ou  $\beta$  próximos de 0,5 e 1 Bq/L respectivamente, devem efectuar-se análises específicas de cada radionuclídeo e a autoridade competente deve ponderar a tomada de medidas para reduzir a dose de radiação a que as pessoas estão sujeitas, de acordo com o preconizado pela Organização Mundial de Saúde (OMS), como já foi referido e que se apresenta na figura 4.

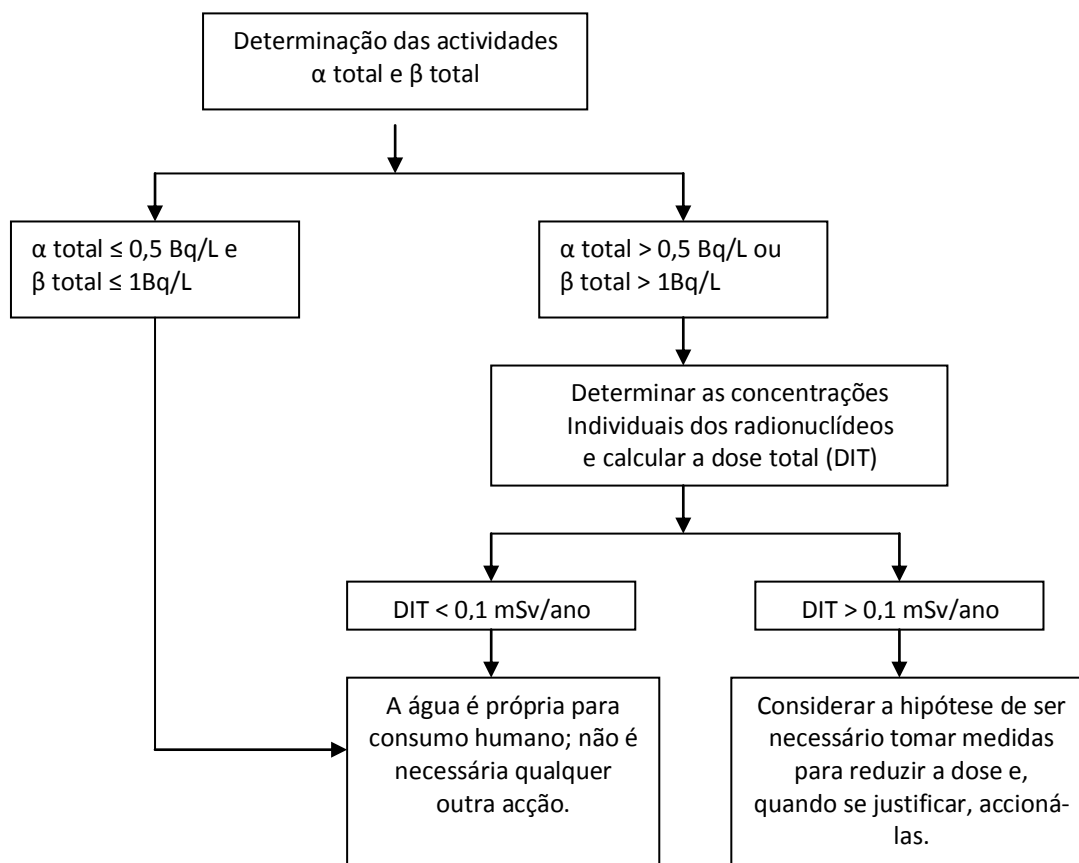


Figura 4 – Procedimento de controlo de radionuclídeos na água para consumo humano – OMS, *Guidelines for Drinking Water Quality*, pág.205,206; 3ª edição, 2004

### 3. Consequências para a saúde humana

Os efeitos da exposição do corpo humano a partículas alfa dependem da via de exposição. Se os emissores de partículas alfa forem inalados, ingeridos ou adsorvidos e chegarem ao sangue, os tecidos sensíveis podem ser expostos a radiação alfa e danificados, com aumento do perigo de cancro.

A exposição de todo o corpo ou de partes dele a doses elevadas de radiação origina efeitos agudos tais como náuseas, vómitos, diarreia, astenia, cefaleias e anorexia, com redução da contagem de células do sangue e, nos casos mais graves, a morte.

A exposição a radiações pode dar origem a dois tipos de efeitos:

- *Determinísticos*: em que a severidade dos danos causados é proporcional à dose e existe um limiar abaixo do qual eles não ocorrem;
- *Estocásticos*: em que a probabilidade de ocorrência é proporcional à dose e é assumido que não existe limiar abaixo do qual eles não ocorrem. O principal efeito estocástico é o cancro.

A monitorização da água para consumo humano em relação a parâmetros radiológicos pretende contribuir para a avaliação do risco e para a prevenção de efeitos estocásticos.

O risco para a saúde associado ao trítio está relacionado com o dano provocado na célula pela radiação ionizante que resulta do decaimento radioactivo, dano esse que pode provocar o cancro.

O termo radão refere-se essencialmente ao isótopo 222 e tem sido estimado que cerca de 0,15% das mortes por cancro de estômago é devida ao radão proveniente da água para consumo humano.

#### 4. Valor de referência

O Decreto-Lei n.º 306/07 de 27 de Agosto, fixa os valores paramétricos do trítio, do  $\alpha$  total, do  $\beta$  total e da DIT, na água para consumo humano em **100, 0,5 e 1 Bq/L e 0,10 mSv/ano** (milisevierte/ano), respectivamente - Anexo I.

A DIT é calculada a partir das concentrações de radionuclídeos e dos coeficientes de dose para adultos, fixados no Anexo III, Quadro A da Directiva 96/29/Euratom.

Em anexo apresenta-se um quadro com os vários valores guias da OMS.

#### 5. Recomendações

Quando se detecta presença de radioactividade na água destinada a consumo humano, recomenda-se o seguinte:

- A primeira acção consiste na determinação de radioactividade total a partir de radiações alfa e beta;
- Não se poderá avaliar a qualidade radiológica, sem um acompanhamento analítico da radioactividade por um período alargado, no mínimo de 1 ano hidrológico.
- Deve ser realizado um estudo para determinar a variação sazonal das concentrações dos radionuclídeos, abrangendo as diferentes condições climáticas (OMS).
- Dever-se-á repetir as determinações das actividades  $\alpha$  e  $\beta$  e em caso de qualquer desses valores ultrapassar os valores recomendados dever-se-á fazer a determinação dos radionuclídeos

específicos para cálculo da DIT (que serão definidos tendo em conta as informações relevantes sobre fontes de radioactividade que eventualmente possam afectar a origem de água).

- Caso os resultados sejam inferiores aos respectivos valores paramétricos, é desnecessário o cálculo da DIT.
- No caso de o  $\alpha$  total ou o  $\beta$  total ultrapassarem os valores paramétricos, dever-se-á calcular a DIT, pressupondo sempre este cálculo, o conhecimento dos radionuclídeos potencialmente presentes numa determinada origem de água.
- Caso o cálculo da DIT seja feito apenas com base nos valores de  $\alpha$  total e  $\beta$  total, não poderá ser comparado com o valor paramétrico da directiva, nem se poderá tirar quaisquer ilações.
- Um valor de DIT superior ao valor paramétrico não significa, só por si, que a água não é adequada para consumo humano, sob o ponto de vista radiológico.

## 6. Bibliografia

- Brito, João Quintela - Algumas considerações sobre radioactividade em águas. [Janeiro 2006] Disponível em WWW: <URL:<http://www.sppcr.online.pt/agua.htm>>
- Cardoso, Elizer M. [e al.] – Radioatividade. Brasil: Comissão Nacional de Energia Nuclear [Novembro 2009] Disponível em WWW: <URL: [www.cnen.gov.br](http://www.cnen.gov.br)>.
- Decreto-Lei n.º 165/2002, D.R., I Série, de 17 de Julho.
- Decreto-Lei n.º 174/2002, D.R., I Série, de 25 de Julho.
- Decreto-Lei n.º 306/2007, D.R., I Série, de 27 de Agosto.
- Directiva 96/29/Euratom, do Conselho de 13 de Maio.
- Directiva 98/83/CE, relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano, J.O., L330/32, de 5 de Setembro.
- Nota Técnica 2004/IRAR/DQA/NG/0344, relativa ao controlo da radioactividade na água para consumo humano, de 29 de Junho.
- Recomendação 2001/928/Euratom, da Comissão de 20 de Dezembro de 2001, relativa à protecção da população contra a exposição ao radão no abastecimento de água potável, Jornal oficial L344/85, de 28 de Dezembro.
- United States Environmental Protection Agency - Drinking Water Methods for Radionuclide Parameters. Washington, DC: EPA [Janeiro 2006] Disponível em WWW: <URL: <http://www.epa.gov//OGWDW/methods/indrads.html>>.
- United States Environmental Protection Agency - Rádón. Washington, DC: EPA [Janeiro 2006] Disponível em WWW: <URL: <http://www.epa.gov/safewater/radon.html>>.

- World Health Organization - Guidelines for Drinking Water Quality, Radiological Aspects, 3ª edição, Vol.1. Geneve: WHO, 2004. ISBN 9241546387.
- World Health Organization - Guidelines for Drinking-water Quality. Fourth Edition. Geneve: WHO, 2011. Disponível em WWW: <URL: [http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf) >. ISBN 9789241548151.

## Anexo

Valores guias para os radionuclidos da Organização Mundial de Saúde

Quadro I - Valores guias para os radionuclidos

Radio-nuclide	Guidance level (Bq/l) <sup>a</sup>	Radio-nuclide	Guidance level (Bq/l) <sup>a</sup>	Radio-nuclide	Guidance level (Bq/l) <sup>a</sup>	Radio-nuclide	Guidance level (Bq/l) <sup>a</sup>
<sup>3</sup> H	10 000	<sup>71</sup> Ge	10 000	<sup>105</sup> Rh	1 000	<sup>129</sup> Cs	1 000
<sup>7</sup> Be	10 000	<sup>73</sup> As	1 000	<sup>103</sup> Pd	1 000	<sup>131</sup> Cs	1 000
<sup>14</sup> C	100	<sup>74</sup> As	100	<sup>105</sup> Ag	100	<sup>132</sup> Cs	100
<sup>22</sup> Na	100	<sup>76</sup> As	100	<sup>110m</sup> Ag	100	<sup>134</sup> Cs	10
<sup>32</sup> P	100	<sup>77</sup> As	1 000	<sup>111</sup> Ag	100	<sup>135</sup> Cs	100
<sup>33</sup> P	1 000	<sup>75</sup> Se	100	<sup>109</sup> Cd	100	<sup>136</sup> Cs	100
<sup>35</sup> S	100	<sup>82</sup> Br	100	<sup>115</sup> Cd	100	<sup>137</sup> Cs	10
<sup>36</sup> Cl	100	<sup>86</sup> Rb	100	<sup>115m</sup> Cd	100	<sup>131</sup> Ba	1 000
<sup>45</sup> Ca	100	<sup>85</sup> Sr	100	<sup>111</sup> In	1 000	<sup>140</sup> Ba	100
<sup>47</sup> Ca	100	<sup>89</sup> Sr	100	<sup>114m</sup> In	100	<sup>140</sup> La	100
<sup>46</sup> Sc	100	<sup>90</sup> Sr	10	<sup>113</sup> Sn	100	<sup>139</sup> Ce	1 000
<sup>47</sup> Sc	100	<sup>90</sup> Y	100	<sup>125</sup> Sn	100	<sup>141</sup> Ce	100
<sup>48</sup> Sc	100	<sup>91</sup> Y	100	<sup>122</sup> Sb	100	<sup>143</sup> Ce	100
<sup>48</sup> V	100	<sup>93</sup> Zr	100	<sup>124</sup> Sb	100	<sup>144</sup> Ce	10
<sup>51</sup> Cr	10 000	<sup>95</sup> Zr	100	<sup>125</sup> Sb	100	<sup>143</sup> Pr	100
<sup>52</sup> Mn	100	<sup>93m</sup> Nb	1 000	<sup>123m</sup> Te	100	<sup>147</sup> Nd	100
<sup>53</sup> Mn	10 000	<sup>94</sup> Nb	100	<sup>127</sup> Te	1 000	<sup>147</sup> Pm	1 000
<sup>54</sup> Mn	100	<sup>95</sup> Nb	100	<sup>127m</sup> Te	100	<sup>149</sup> Pm	100
<sup>55</sup> Fe	1 000	<sup>93</sup> Mo	100	<sup>129</sup> Te	1 000	<sup>151</sup> Sm	1 000
<sup>59</sup> Fe	100	<sup>99</sup> Mo	100	<sup>129m</sup> Te	100	<sup>153</sup> Sm	100
<sup>56</sup> Co	100	<sup>96</sup> Tc	100	<sup>131</sup> Te	1 000	<sup>152</sup> Eu	100
<sup>57</sup> Co	1 000	<sup>97</sup> Tc	1 000	<sup>131m</sup> Te	100	<sup>154</sup> Eu	100
<sup>58</sup> Co	100	<sup>97m</sup> Tc	100	<sup>132</sup> Te	100	<sup>155</sup> Eu	1 000
<sup>60</sup> Co	100	<sup>99</sup> Tc	100	<sup>125</sup> I	10	<sup>153</sup> Gd	1 000
<sup>59</sup> Ni	1 000	<sup>97</sup> Ru	1 000	<sup>126</sup> I	10	<sup>160</sup> Tb	100
<sup>63</sup> Ni	1 000	<sup>103</sup> Ru	100	<sup>129</sup> I	1	<sup>160</sup> Er	1 000
<sup>65</sup> Zn	100	<sup>106</sup> Ru	10	<sup>131</sup> I	10	<sup>171</sup> Tm	1 000

Quadro I - Valores guias para os radionuclidos (continuação)

Radio-nuclide	Guidance level (Bq/l) <sup>a</sup>	Radio-nuclide	Guidance level (Bq/l) <sup>a</sup>	Radio-nuclide	Guidance level (Bq/l) <sup>a</sup>	Radio-nuclide	Guidance level (Bq/l) <sup>a</sup>
<sup>175</sup> Yb	1 000	<sup>210</sup> Pb <sup>b</sup>	0.1	<sup>231</sup> U	1 000	<sup>243</sup> Am	1
<sup>182</sup> Ta	100	<sup>206</sup> Bi	100	<sup>232</sup> U	1	<sup>242</sup> Cm	10
<sup>181</sup> W	1 000	<sup>207</sup> Bi	100	<sup>233</sup> U	1	<sup>243</sup> Cm	1
<sup>185</sup> W	1 000	<sup>210</sup> Bi <sup>b</sup>	100	<sup>234</sup> U <sup>b</sup>	1	<sup>244</sup> Cm	1
<sup>186</sup> Re	100	<sup>210</sup> Po <sup>b</sup>	0.1	<sup>235</sup> U <sup>b</sup>	1	<sup>245</sup> Cm	1
<sup>185</sup> Os	100	<sup>223</sup> Ra <sup>b</sup>	1	<sup>236</sup> U <sup>b</sup>	1	<sup>246</sup> Cm	1
<sup>191</sup> Os	100	<sup>224</sup> Ra <sup>b</sup>	1	<sup>237</sup> U	100	<sup>247</sup> Cm	1
<sup>193</sup> Os	100	<sup>225</sup> Ra	1	<sup>238</sup> U <sup>b,c</sup>	10	<sup>248</sup> Cm	0.1
<sup>190</sup> Ir	100	<sup>226</sup> Ra <sup>b</sup>	1	<sup>237</sup> Np	1	<sup>249</sup> Bk	100
<sup>192</sup> Ir	100	<sup>228</sup> Ra <sup>b</sup>	0.1	<sup>239</sup> Np	100	<sup>246</sup> Cf	100
<sup>191</sup> Pt	1 000	<sup>227</sup> Th <sup>b</sup>	10	<sup>236</sup> Pu	1	<sup>248</sup> Cf	10
<sup>193m</sup> Pt	1 000	<sup>228</sup> Th <sup>b</sup>	1	<sup>237</sup> Pu	1 000	<sup>249</sup> Cf	1
<sup>198</sup> Au	100	<sup>229</sup> Th	0.1	<sup>238</sup> Pu	1	<sup>250</sup> Cf	1
<sup>199</sup> Au	1 000	<sup>230</sup> Th <sup>b</sup>	1	<sup>239</sup> Pu	1	<sup>251</sup> Cf	1
<sup>197</sup> Hg	1 000	<sup>231</sup> Th <sup>b</sup>	1 000	<sup>240</sup> Pu	1	<sup>252</sup> Cf	1
<sup>203</sup> Hg	100	<sup>232</sup> Th <sup>b</sup>	1	<sup>241</sup> Pu	10	<sup>253</sup> Cf	100
<sup>200</sup> Tl	1 000	<sup>234</sup> Th <sup>b</sup>	100	<sup>242</sup> Pu	1	<sup>254</sup> Cf	1
<sup>201</sup> Tl	1 000	<sup>230</sup> Pa	100	<sup>244</sup> Pu	1	<sup>253</sup> Es	10
<sup>202</sup> Tl	1 000	<sup>231</sup> Pa <sup>b</sup>	0.1	<sup>241</sup> Am	1	<sup>254</sup> Es	10
<sup>204</sup> Tl	100	<sup>233</sup> Pa	100	<sup>242</sup> Am	1 000	<sup>254m</sup> Es	100
<sup>203</sup> Pb	1 000	<sup>230</sup> U	1	<sup>242m</sup> Am	1		

<sup>a</sup> Guidance levels are rounded according to averaging the log scale values (to 10<sup>n</sup> if the calculated value was below 3 × 10<sup>n</sup> and above 3 × 10<sup>n-1</sup>).

<sup>b</sup> Natural radionuclides.

<sup>c</sup> The provisional guideline value for uranium in drinking-water is 30 µg/l based on its chemical toxicity for the kidney (see section 8.5).

Retirado de *Guidelines for Drinking-water Quality - Fourth Edition*, WHO