

UFMG



II SENCiR

Semana de Engenharia Nuclear e Ciências das Radiações



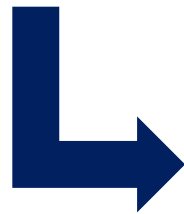
# Radioatividade Natural

Profa Talita de Oliveira Santos

07 de outubro de 2014

# Sumário

- ✓ Histórico
- ✓ Radiações Ionizantes
- ✓ Radioatividade ambiental: radioatividade artificial x radioatividade natural
- ✓ Radioatividade natural: raios cósmicos, radionuclídeos cosmogênicos e radionuclídeos primordiais e secundários.



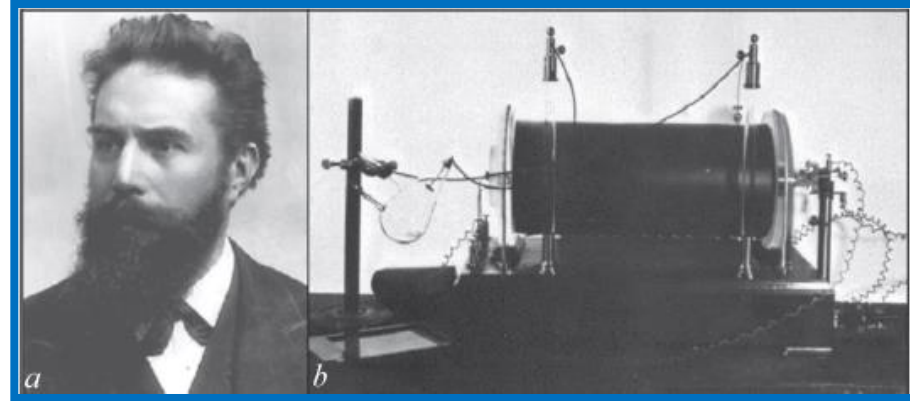
**IMPORTÂNCIA ?**

# Conteúdo Programático

- ✓ Radônio
- ✓ Pesquisas
- ✓ Conclusão
- ✓ Referências Bibliográficas

# Histórico

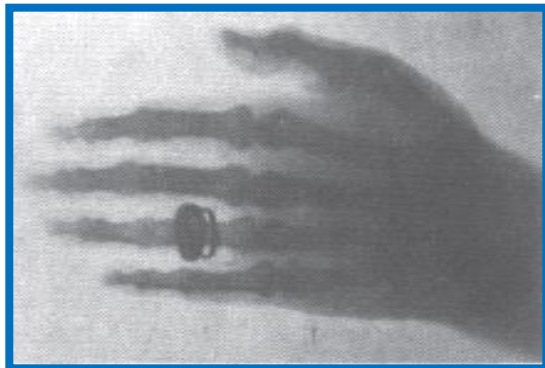
- **1895 – Descoberta dos raios X por Roentgen.**



Propriedade dos raios X

22 de dezembro de 1895 – Primeira radiografia humana

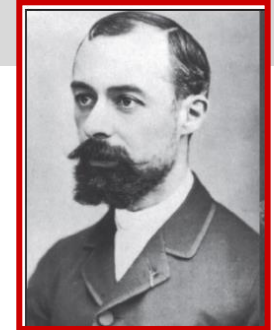
1896 – Única Apresentação Pública - Radiografia da mão do anatomista Rudolf Albert von Kölliker, com 77 anos.



Primeira Radiografia Humana da mão da Sra. Roentgen.

# Histórico

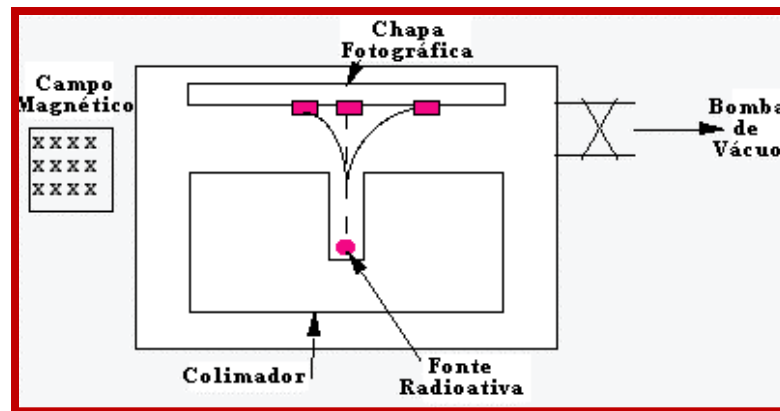
- 1896 – Descoberta da Radioatividade por Antoine Henri Becquerel



**Emissão espontânea  
de radiação**



**Radioatividade  
Natural**



***Esquema utilizado por Bequerel para mostrar que a radiação descoberta não era raios-x***

# Histórico

**Marie Curie e Pierre Curie:** estudos da radioatividade.



Marie Curie e Pierre Curie.

**Pierre Curie:** Efeitos da radiação sobre a sua pele. Utilizando material radioativo promoveu o aparecimento de queimadura e posteriormente uma ferida.

Início dos estudos em radiobiologia e emprego da radiação em tratamento de tumores malignos.

- 1896 - Marie Curie isola o rádio.
- 1898 - Marie Curie isola o polônio

# Histórico

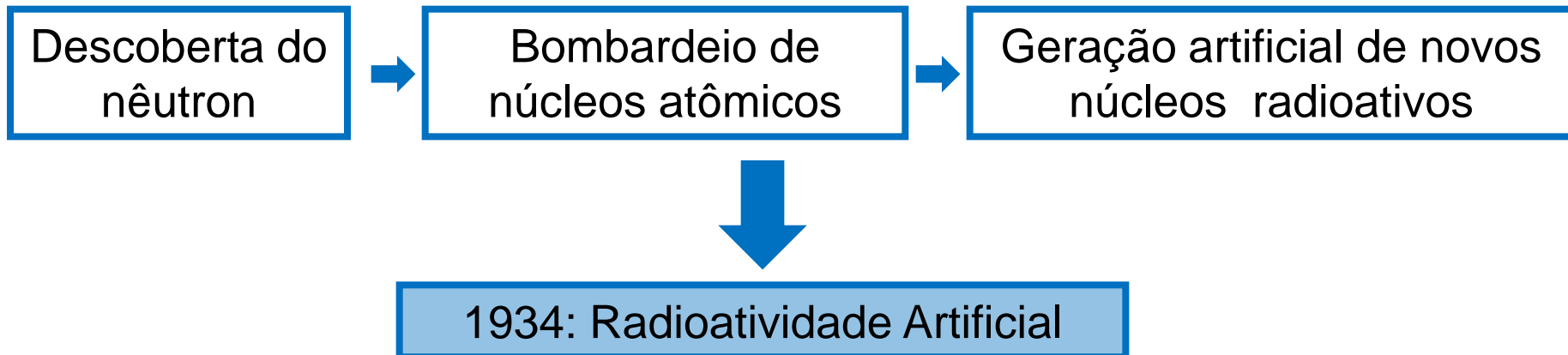
**Nelson Ernest Rutherford (1897):** descoberta das partículas alfa e beta, identificação das famílias radioativas e criação de um método para calcular a energia liberada nas transições radioativas.

**Paul Villard (1900):** descoberta dos raios gama.

**Niels Bohr (1919):** transmutação induzida. Hipótese da existência dos nêutrons.

**James Chadwick (1932):** comprovação da existência dos nêutrons.

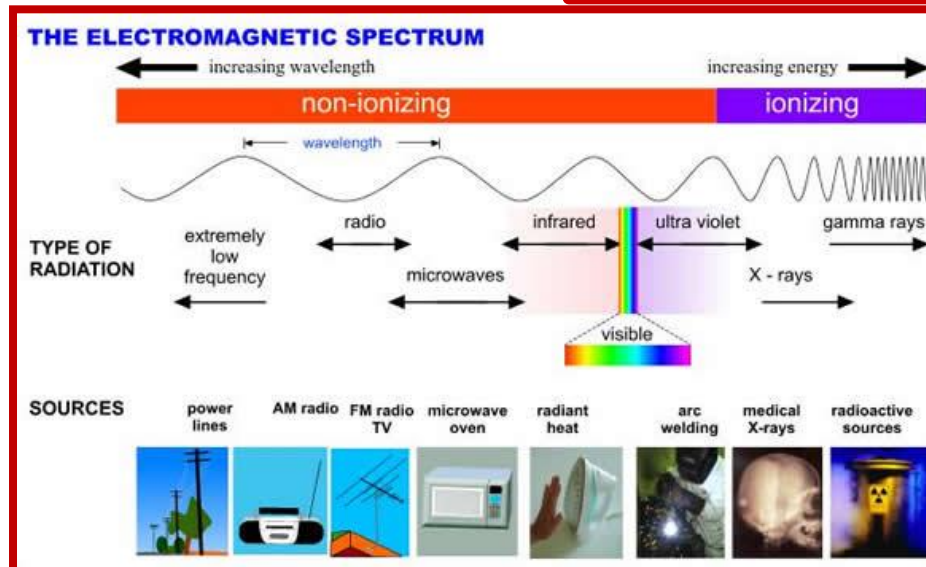
**Irene Joliot-Curie e Frédéric Joliot:** observaram o processo de decaimento do nêutron.



# Radiação

Não Ionizante

Ionizante





# Radiações ionizantes

## Eletromagnética

✓ Modelo ondulatório: campos elétricos e magnéticos perpendiculares ( $c=\lambda.v$ ). Onde,  $c$  é a velocidade da onda,  $\lambda$  é o comprimento de onda e  $v$  é a frequência da onda.

✓ Modelo Quântico: pacotes de energia ( $E=h.v$ ). Onde,  $E$  é a energia do fóton,  $h$  é a constante de Planck e  $v$  é a frequência.

✓ Exemplos: Raios X (eletrosfera) e Raios  $\gamma$  (núcleo).

## Particulada

Exemplos:

✓ Elétrons: carga elétrica negativa e massa de repouso igual a  $9,109390.10^{-31}$  kg.

✓ Prótons: carga elétrica positiva e massa de repouso igual a  $1,672623.10^{-27}$  kg.

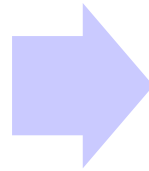
✓ Nêutrons: sem carga e com massa de repouso igual a  $1,674929.10^{-27}$  kg

✓ Alfa: Núcleos de He (2 prótons e 2 nêutrons)

✓ Íons



Fontes  
Artificiais



Fontes  
Naturais

Radioatividade  
Ambiental

## Fontes artificiais

Equipamentos elétricos utilizados na medicina: aceleradores de partículas e os tubos de raios-x.

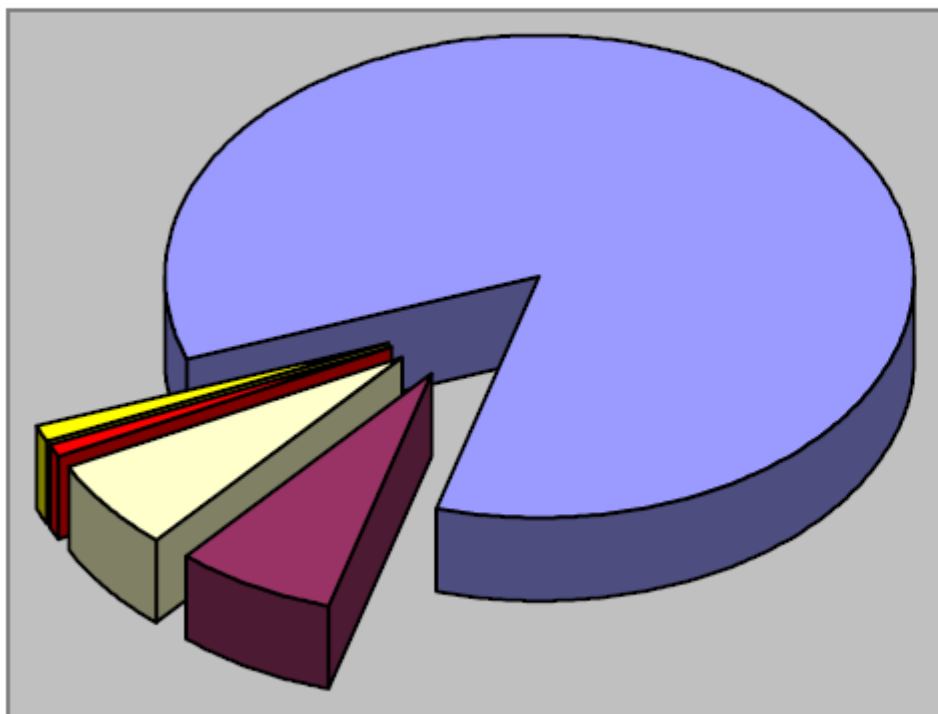
Fontes artificiais empregadas na indústria , na medicina, na pesquisa, na agricultura, na geologia, dentre outras.

Exposições ocupacionais.

Radionuclídeo liberados para o meio ambiente devido à produção de fertilizantes, à combustão de combustíveis fósseis, à produção e testes de armas atômicas, à operação de centrais nucleares e aos acidentes .

# Fontes Artificiais

Fração da dose na população para fontes artificiais



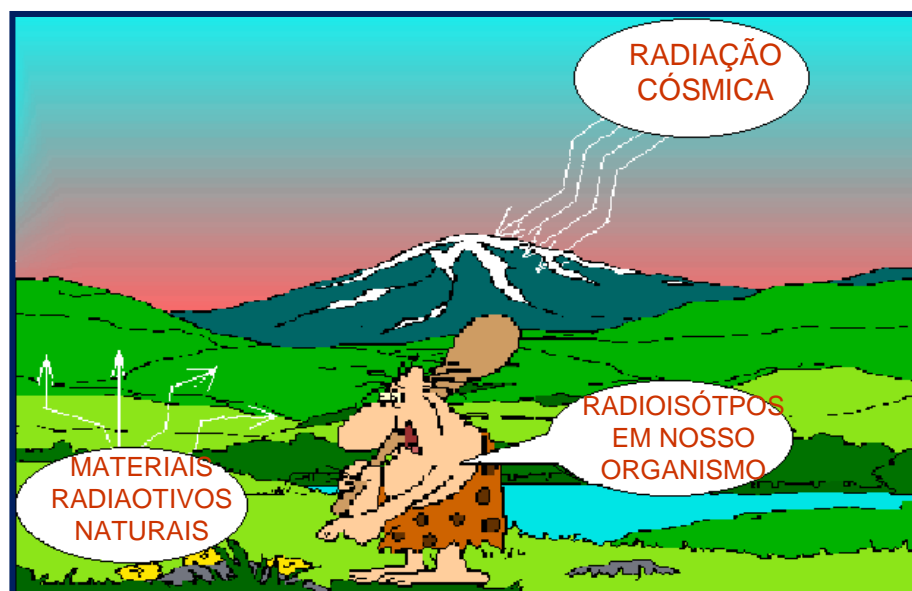
- Radiodiagnóstico
- Aplicações Médicas
- Outros
- Indústria Nuclear
- Exposição Ocupacional

# Fontes Naturais

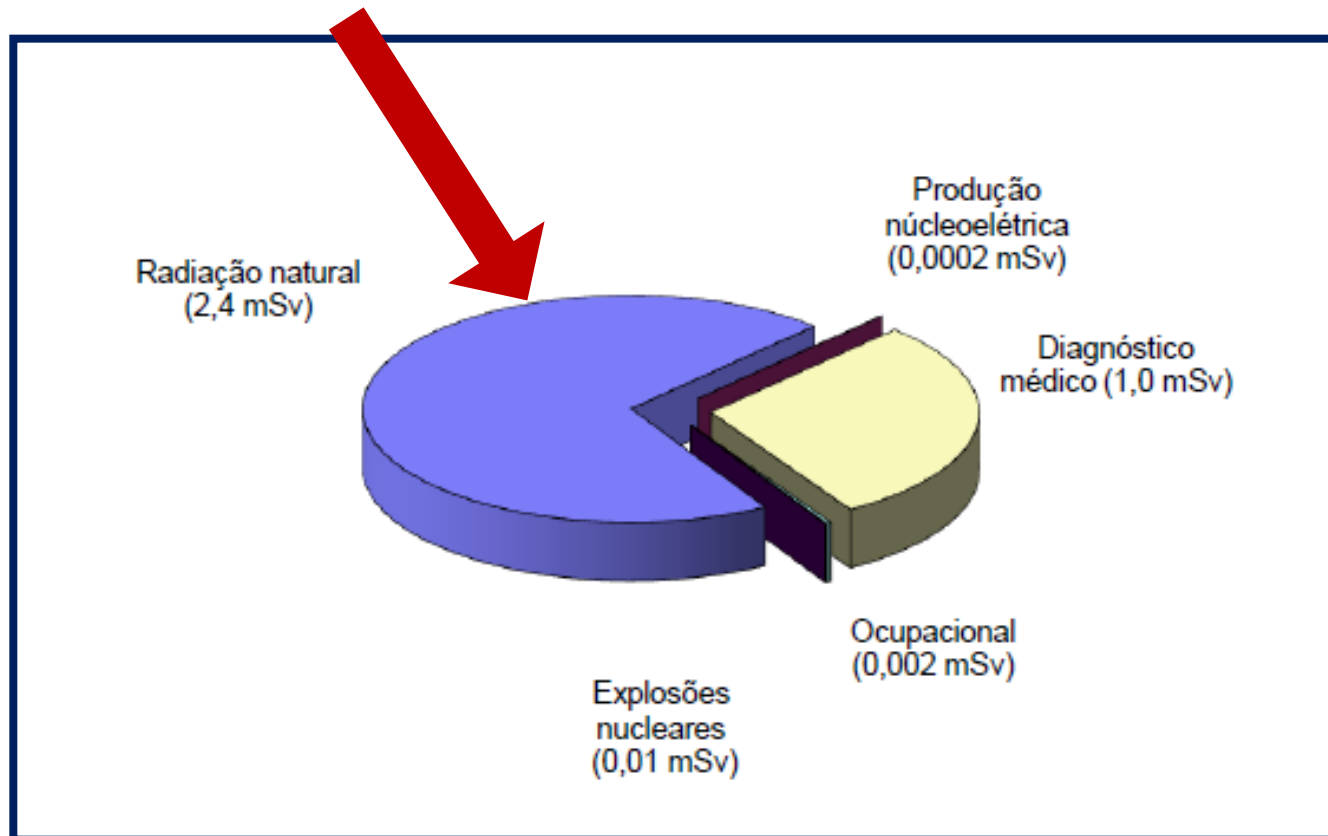
Raios cósmicos

Radionuclídeos naturais originados na crosta terrestre, que distribuem-se nos diversos compartimentos ambientais.

Radioisótopos naturais presentes nos alimentos e no organismo humano



# Fontes de Exposição Humana à radiação ionizante



**Dose individual média anual decorrente de fontes naturais e artificiais**

## Fontes Naturais



### Externa

Raios cósmicos  
Radiação terrestre

### Interna

Radionuclídeos  
incorporados (radônio)

# Raios C3smicos

## Raios C3smicos Prim3rios

- Os raios c3smicos prim3rios s3o radia33es de alta energia procedentes do espa3o exterior que penetram a atmosfera terrestre.

- ✓ Raios c3smicos solares (part3culas geradas perto da superf3cie do sol por perturba33es magn3ticas - pr3tons).
- ✓ Raios c3smicos gal3cticos.

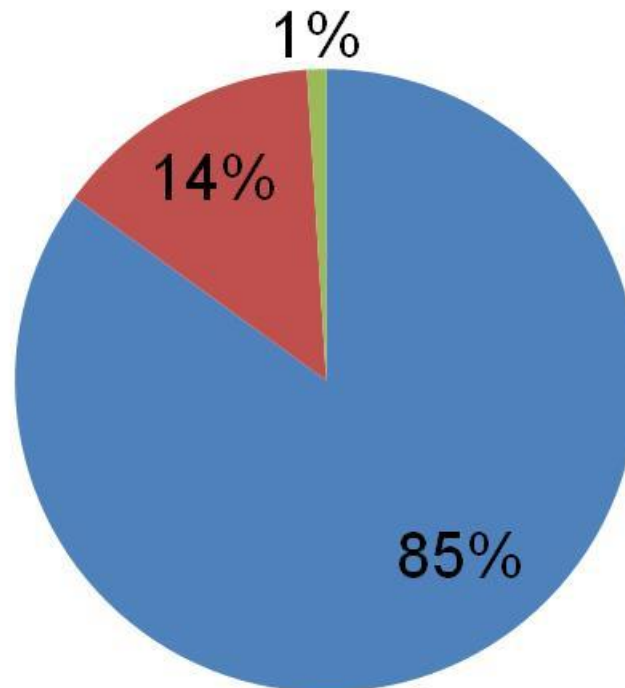


# Radioatividade Natural

## Raios C3smicos Gal3cticos

### Raios C3smicos

■ Pr3tons de alta energia   ■ Particulas alfa   ■ N3cleos at3micos mais pesados



# Raios C3smicos

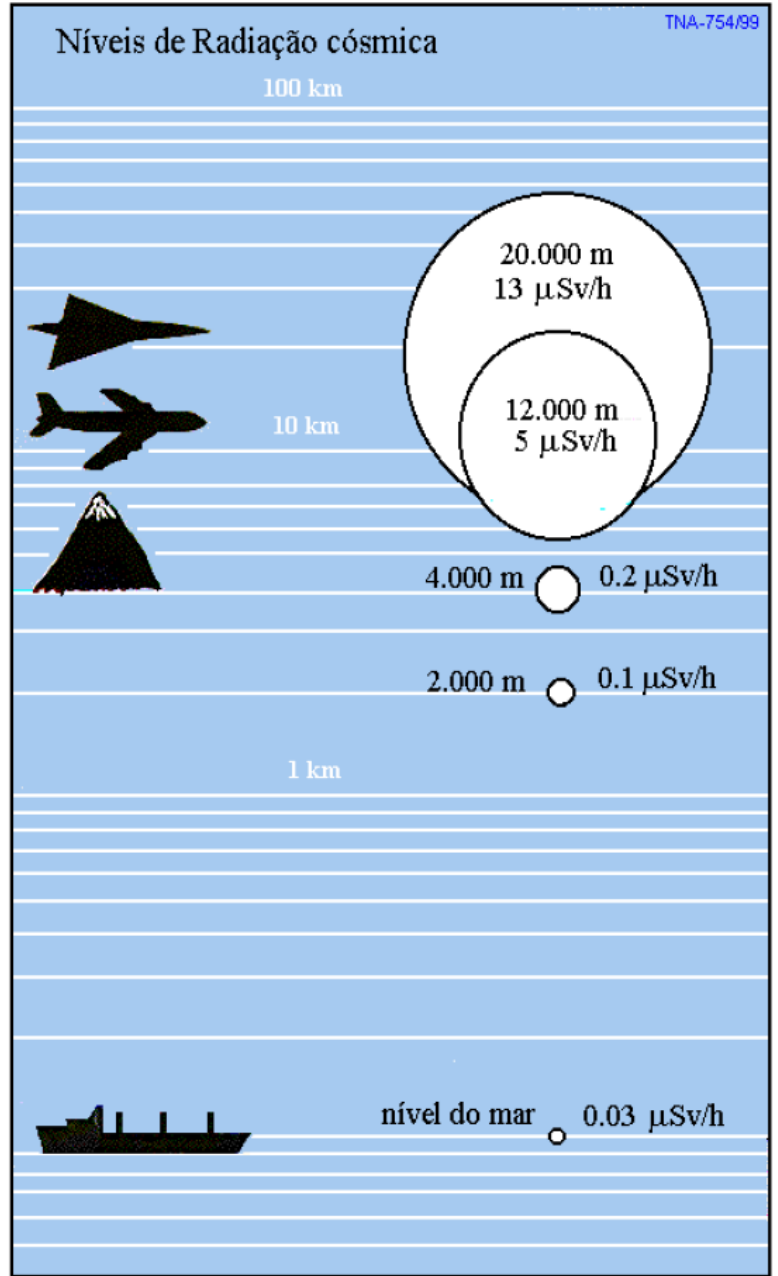
## Raios C3smicos Secund3rios

- Os raios c3smicos prim3rios sofrem variadas e complexas intera33es com os elementos que formam parte da atmosfera (nitrog3nio, oxig3nio e arg3nio).

S3o formados de diversas part3culas pr3tons, n3utrons, p3ions, m3ions, kaons, m3sons, etc, que originam novas radia33es (f3tons, el3trons, p3sitrons, etc) em decorr3ncia da instabilidade e outras intera33es.

A latitude e a altitude promovem variações na intensidade de radiação cósmica que atinge a terra.

- ✓ Intensidades e taxas de doses mínimas são verificadas no equador e intensidades e taxas de doses máximas são obtidas nos polos (forma do campo magnético da terra).
- ✓ A taxa de dose absorvida devido aos raios cósmicos aumenta com a altitude.





# Radionuclídeos Cosmogênicos

Radionuclídeo	Meia-vida	Razão de produção atmosférica (átmos/cm <sup>2</sup> .seg)	Detectado e medido em
<sup>10</sup> Be	2,7 x 10 <sup>6</sup> anos	4,5 x 10 <sup>-2</sup>	Sedimentos profundos do mar
<sup>36</sup> Cl	3,1 x 10 <sup>5</sup> anos	1,1 x 10 <sup>-3</sup>	Rochas, chuva
→ <sup>14</sup> C	5568 anos	1,8	Material orgânico, CO <sub>2</sub>
<sup>32</sup> Si	500 anos	1,6 x 10 <sup>-4</sup>	Esponjas marinhas, água do mar
→ <sup>3</sup> H	12,3 anos	0,25	Água, ar
→ <sup>22</sup> Na	2,6 anos	5,6 x 10 <sup>-5</sup>	Chuva, ar, material orgânico
<sup>35</sup> S	88 dias	1,4 x 10 <sup>-3</sup>	Chuva, ar, material orgânico
→ <sup>7</sup> Be	53 dias	8,1 x 10 <sup>-2</sup>	Chuva, ar
<sup>33</sup> P	25 dias	6,8 x 10 <sup>-4</sup>	Chuva, ar, material orgânico
<sup>32</sup> P	14,3 dias	8,1 x 10 <sup>-4</sup>	Chuva, ar, material orgânico
<sup>27</sup> Na	15,1 horas		Chuva
<sup>38</sup> S	2,9 horas		Chuva
<sup>39</sup> Cl	55 minutos	1,6 x 10 <sup>-3</sup>	Chuva
<sup>38</sup> Cl	37 minutos		Chuva

- Os mais significativos do ponto de vista de dose para a população são: o <sup>3</sup>H (trítio), o <sup>7</sup>Be, o <sup>14</sup>C e o <sup>22</sup>Na.
- Em geral, tratam-se de emissores beta de pequena energia e de meia vida curta.

# Radionuclídeos Cosmogênicos

Apesar de serem originados de forma idêntica, estes radionuclídeos apresentam comportamentos geoquímicos distintos.

- É convertido em água tritiada (HTO) (90%), entrando diretamente no ciclo da água

$^3\text{H}$

$^{14}\text{C}$

- É oxidado para formar  $^{14}\text{CO}_2$ , participando nos processos de transferência entre a atmosfera e a biosfera

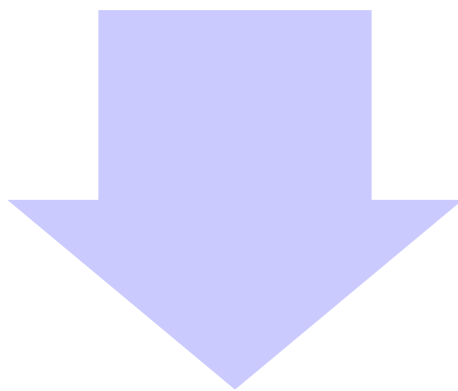
- Associam-se rapidamente às partículas de aerossol disponíveis na atmosfera.

$^{22}\text{Na}$  e  $^7\text{Be}$

Nota-se que a concentração de alguns radionuclídeos cosmogênicos como o  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{22}\text{Na}$  e  $^{37}\text{Ar}$  foram aumentadas como consequência dos testes e produção de bombas atômicas.

# Radionuclídeos Cosmogênicos

$^3\text{H}$  e  $^{14}\text{C}$

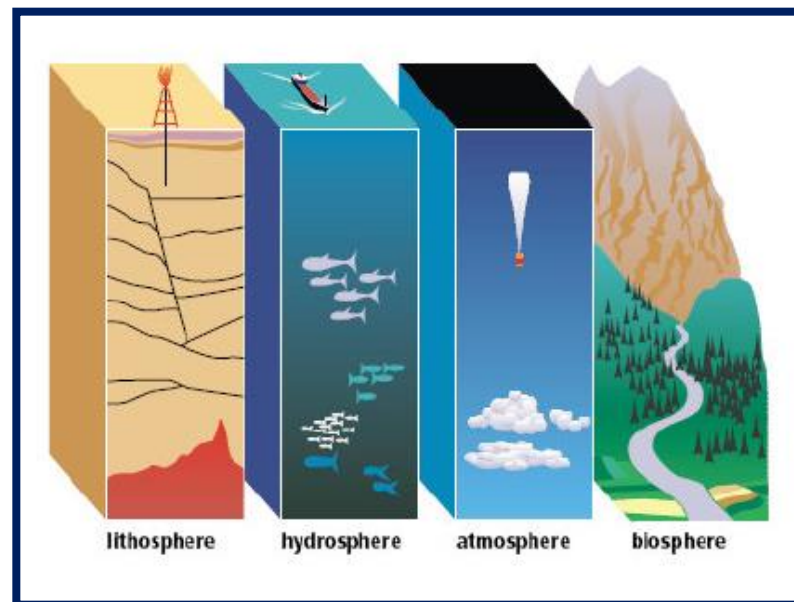


Utilizados em hidrologia, sobretudo para datação de águas subterrâneas

# Radioatividade Natural

## Radionuclídeos Primordiais e Secundários

- Os radionuclídeos primordiais estão presentes nos diversos sistemas geológicos.
- Eles estão presentes na Terra desde sua formação há cerca de 4.500 milhões de anos.
- Nesse contexto, inserem-se apenas aqueles que possuem isótopos radioativos cuja meia-vida é suficientemente longa para permitir que a atividade permaneça existindo nos dias de hoje.







Radionuclídeos  
Primordiais

Isolados

Encabeçando uma  
das três séries  
radioativas naturais

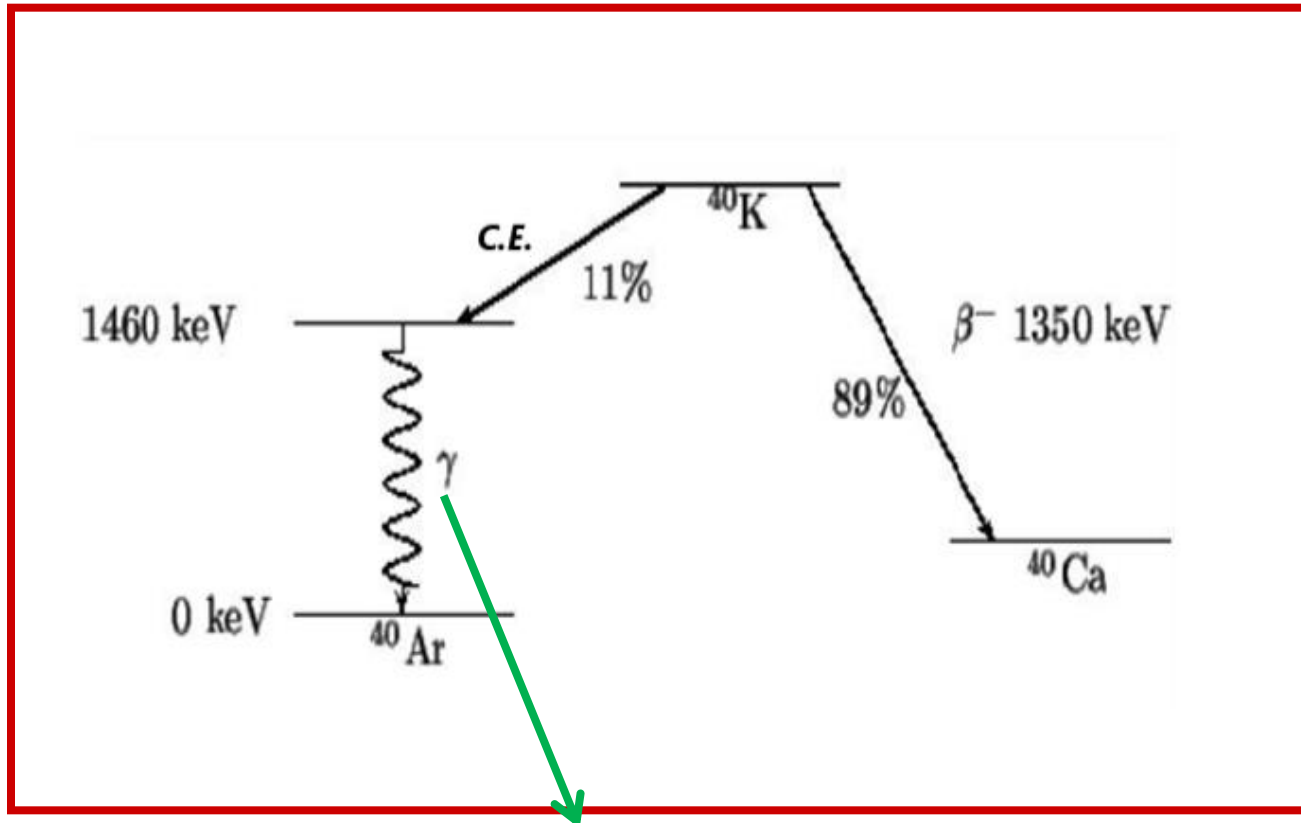
## Radionuclídeos Primordiais Isolados

Nuclídeo	Meia-vida (a)	Abundância Isotópica (%)	Modo de Decaimento	Energia (MeV)
<sup>40</sup> K	$1,3 \times 10^9$	0,0118	Beta menos	1,32
<sup>50</sup> V	$6 \times 10^{14}$			
<sup>87</sup> Rb	$4,7 \times 10^{10}$			
<sup>113</sup> Cd	$9 \times 10^{15}$			
<sup>115</sup> In	$9 \times 10^{14}$	95,7	Beta menos	0,49
<sup>123</sup> Te	$1,2 \times 10^{13}$	0,87	CE	-
<sup>138</sup> La	$1,1 \times 10^{11}$	0,09	Beta menos	0,27
<sup>142</sup> Ce	$> 5 \times 10^{16}$	11,1	Alfa	1,5
<sup>144</sup> Nd	$2,1 \times 10^{15}$	23,9	Alfa	1,83
<sup>147</sup> Sm	$1,1 \times 10^{11}$	15,0	Alfa	2,23
<sup>148</sup> Sm	$8 \times 10^{15}$	11,2	Alfa	1,95
<sup>149</sup> Sm	$> 10^{16}$	13,8	Alfa	$< 2,0$
<sup>152</sup> Gd	$1,1 \times 10^{14}$	0,20	Alfa	2,14
<sup>156</sup> Dy	$2 \times 10^{14}$	0,06	Alfa	3 (?)
<sup>176</sup> Lu	$2,7 \times 10^{10}$	2,6	Beta menos	0,57; 0,31
<sup>174</sup> Hf	$2 \times 10^{15}$	0,17	Alfa	2,50
<sup>180</sup> Ta	$> 1,6 \times 10^{13}$	0,012	Beta menos	-
<sup>187</sup> Re	$5 \times 10^{10}$	62,5	Beta menos	0,0026
<sup>190</sup> Pt	$7 \times 10^{11}$	0,013	Alfa	3,16
<sup>204</sup> Pb	$1,4 \times 10^{17}$	1,48	Alfa	2,6

Mais importantes do ponto de vista dosimétrico-ambiental

# $^{40}\text{K}$

Meia-vida de  $1,28 \times 10^9$  anos e abundância isotópica de 0,0118%

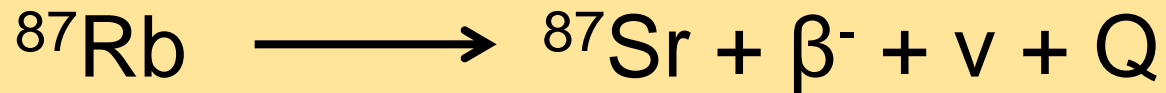


Este fóton característico é muito útil para identificação e quantificação do  $^{40}\text{K}$  por espectrometria gama.

## $^{40}\text{K}$

- É distribuído em toda crosta terrestre com concentrações variando de 0,1% até mais de 4 % em alguns granitos.
- O  $^{40}\text{K}$  é encontrado em todos os sistemas biológicos.
- Um homem de 70 kg contém em torno de 140g de potássio, principalmente no músculo, o que corresponde a 4,4 kBq no corpo.
- Utilizado para datação radiométrica

$^{87}\text{Rb}$



Meia-vida de  $4,8 \times 10^{10}$  anos e  
abundância isotópica de 27,8%

- Substitui o potássio dentro do corpo.
- A concentração média de rubídio em humanos é em torno de 10 mg/kg.
- É encontrado em quantidade de traços em solos e rochas, com concentrações típicas da ordem de 10 até 200 ppm, com granitos tendo a mais alta concentração.
- Utilizado para datação radiométrica

## Radionuclídeos Primordiais: Séries Radioativas

$$A = 4n$$



$$A = 4n + 2$$

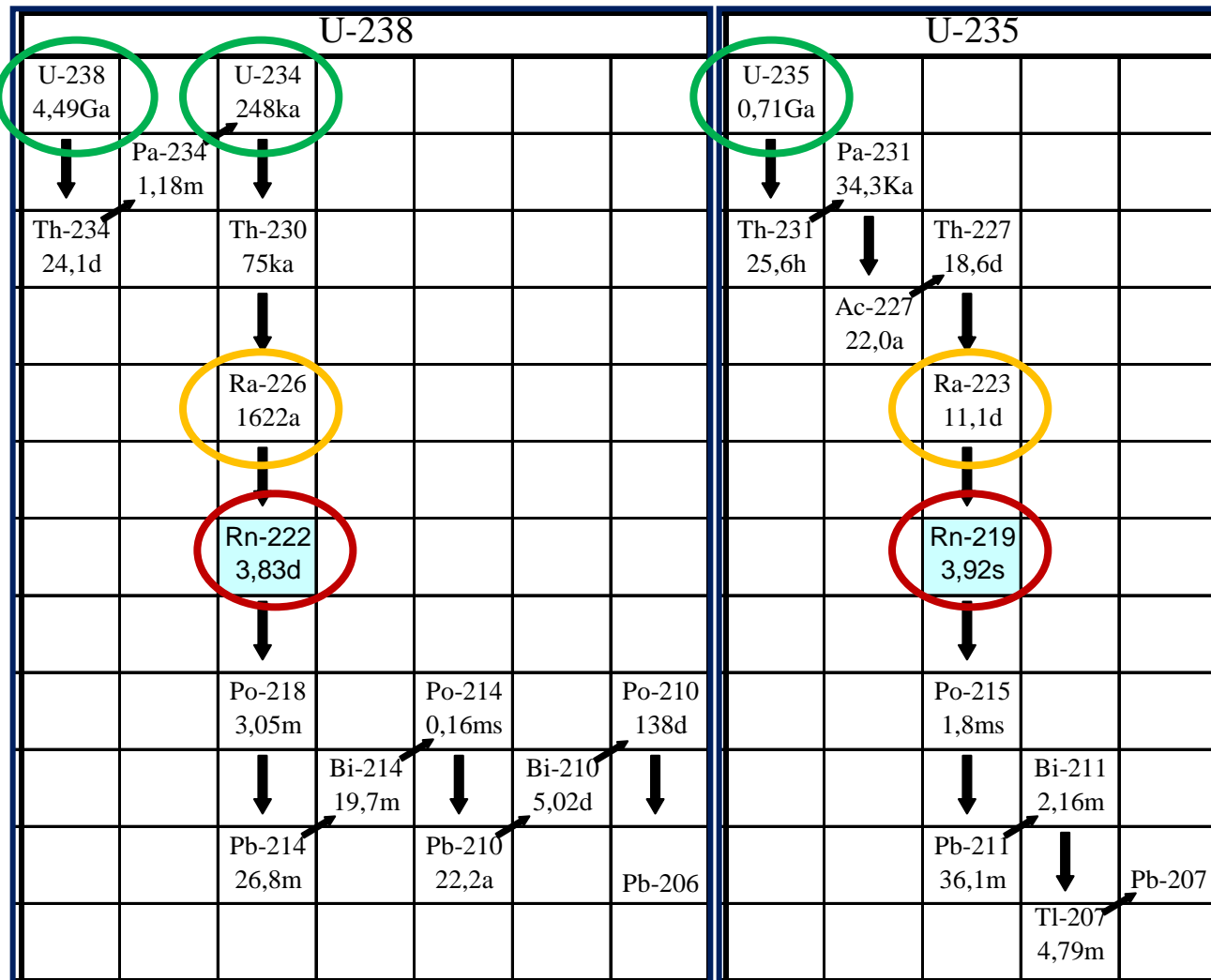


$$A = 4n + 3$$



- Cabe destacar a existência de uma quarta série radioativa cujo pai era o  ${}^{241}\text{Pu}$  ( $T_{1/2} = 14$  anos).
- Somente o  ${}^{209}\text{Bi}$  (tempo de meia-vida de  $2 \times 10^{18}$ ), membro de tal série, continua sendo encontrado.

# Urânio



Fonte:  
Bonotto,  
2004

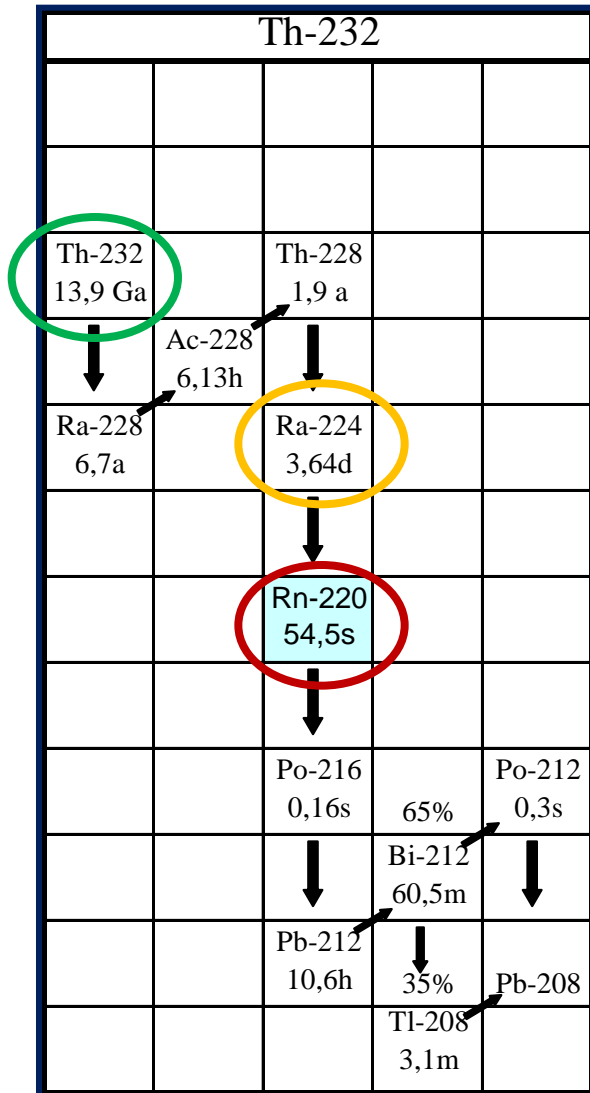
$^{238}\text{U} = 99,274\%$   $^{235}\text{U} = 0,720\%$   $^{234}\text{U} = 0,0057\%$

# Urânio

- O urânio ocorre naturalmente na crosta terrestre em concentrações na faixa de 0,008 a 8,2 ppm.
- É encontrado em rochas e minérios, areia monazítica, águas salgadas e doces.
- Os oceanos atuam como tanque de descarga de urânio, com concentrações variando de 2 a 3,7 mg/m<sup>3</sup>.
- A concentração na água doce é muito menor, tipicamente alguns décimos de miligrama por metro cúbico, com o nível real determinado pela geologia da região.
- Seu transporte e mobilidade dependem de quatro fatores principais: potencial de oxidação-redução, pH, agentes complexantes e materiais adsorventes presentes na água.



# Tório



O tório possui apenas um isótopo primordial, o  $^{232}\text{Th}$ .

# Tório

- Ele é aproximadamente quatro vezes mais abundante que o urânio nas rochas crustais.
- O tório ocorre naturalmente na crosta terrestre em concentrações na faixa de 0,01 a 21,5 mg/kg.
- É encontrado, principalmente, em areia monazítica, rochas e alguns minerais.
- Geralmente, os compostos de tório não são facilmente solúveis em água e não evaporam do solo ou da água para a atmosfera.
- Seu transporte ocorre principalmente por sorção nas partículas e depende do fenômeno de ressuspensão ou de mistura do sedimento na água.

Irradiação

Seres vivos

Ingestão

Inalação

## Irradiação

- Radionuclídeos emissores gama que são responsáveis (Dose externa em ambientes internos e externos)
- No ambiente externo, estão presentes a nível traço em todos os solos.
- A distribuição de tais radioelementos nos solos depende do conteúdo radioativo das rochas que os originaram (processos geológicos) e de causas geoquímicas.
- A atividade específica de potássio nos solos é maior que a de urânio e tório.
- Sabe-se que os valores médio de 400, 35 e 30 Bq.kg<sup>-1</sup> para <sup>40</sup>K, <sup>238</sup>U e <sup>232</sup>Th, respectivamente.
- No entanto, a atividade específica dos elementos naturais varia de local para local e em algumas regiões, com características geológicas específicas, a população pode estar exposta a um taxa de dose absorvida que desvia da normal.

Material	<sup>40</sup> K		<sup>232</sup> Th		<sup>238</sup> U	
	% total K	Bq/kg	ppm	Bq/kg	ppm	Bq/kg
<b>Rochas ígneas</b>						
Basalto	0,8	300	3 - 4	10 - 15	0,5 - 1	7 - 10
Máfico	0,3 - 1,1	70 - 400	1,6 / 2,7 <sup>c</sup>	7 / 10 <sup>c</sup>	0,5 / 0,9 <sup>c</sup>	7 / 10 <sup>c</sup>
Sáfico	4,5	1100 - 1500	16 / 20 <sup>c</sup>	60 / 80 <sup>c</sup>	3,9 / 4,7 <sup>c</sup>	50 / 60 <sup>c</sup>
Granito	>4	>1000	17	70	3	40
<b>Rochas sedimentares</b>						
Arenito	2,7	800	12	50	3,7	40
Quartzo Limpo	<1	<300	<2	<8	<1	<10
Quartzo sujo	2	400	3 - 6	10 - 25	2 - 3	40
Arkose	2 - 3	600 - 900	2	<8	1 - 2	10 - 25
Areias de praia	<1	<300	6	25	3	40
Rochas carbonáticas	0,3	70	2	8	2	25
Todas as rochas (escala) <sup>a</sup>	0,3 - 4,5	70 - 1500	1,6 - 20	7 - 80	0,5 - 4,7	7 - 60
Crosta Continental	2,8	850	10,7	44	2,8	36
Solos	1,5	400	9	37	1,8	22

<sup>a</sup> Exemplos de materiais fora dessa escala podem ser encontrados, mas em quantidades relativamente pequenas

<sup>b</sup> 1 Bq/kg = 0,027 pCi/g

<sup>c</sup> Média e mediana, respectivamente

Fonte: Adaptada Eisenbud e Gessel (1997)

# Background Natural

✓ Medidas diretas da taxa de dose absorvida média realizadas em vários países do mundo variam de (UNSCEAR, 2000):

18 to 93 nGy/h

Valor médio: 57 nGy/h

# Áreas com Alto Background Natural

- Áreas com níveis de radiação elevados são encontradas no mundo devido às condições geológicas locais e efeitos geoquímicos.
- Ainda que todos os habitantes da Terra estejam expostos à radiação natural, alguns são mais irradiados do que outros.



País	Área	Característica da Área	Taxa de Dose Absorvida no ar (nGy/h)
Brasil	Guarapari	Areia Monazítica e áreas costais	90 - 170 (ruas) 90 - 90000 (praias)
	MG e GO	Rochas Vulcânicas	110 - 1300
China	Yangjiang e Guangdong	Partículas Monazítica	370
Egito	Delta do Nilo	Areia Monazítica	20 - 400
França	Centro	Granítica, área de arenito xistoso	20 - 400
	Sudeste	Minério de urânio	10 - 10000
India	Kerala, Madras	Areia Monazítica e áreas costais	200 - 4000
	Delta do Ganges		260 - 440
Iran	Ramsar	Águas de Nascentes	70 - 17 000
	Mahallat		800 - 4 000
Itália	Lazio	Solo vulcânico	180
	Campania		200
	Orvieto		560
	Sul da Toscana		150 - 200
Suíça	Tessin, Alps, Jura	Gnaisee e <sup>226</sup> Ra em solo karst	100 - 200





<b>País</b>	<b>Área</b>	<b>Característica da Área</b>	<b>Taxa de Dose Absorvida no ar (nGy/h)</b>
Brasil	Cumuruxatiba	Areia Monazítica	14450
	Guarapari	Areia Monazítica	37500
	Alcobaça	Areia de Praia	328

Fonte: Vasconcelos *et al*, 2009 & Vasconcelos *et al*, 2011

## Irradiação

- ✓ Em ambientes internos, a exposição às raios gama provém dos materiais de construção.
- ✓ É caracterizada por ser maior que a exposição no ambiente externo.
- ✓ A taxa de dose absorvida no interior de residência é cerca de:

Valor médio:  $75 \text{ nGy.h}^{-1}$

Faixa: 20 a 200 nGy/h

## Ingestão

- ✓ A dose decorre de tais radionuclídeos naturais presentes na comida e na água.
- ✓ Promove uma exposição prolongada do sistema digestivo.

## Inalação

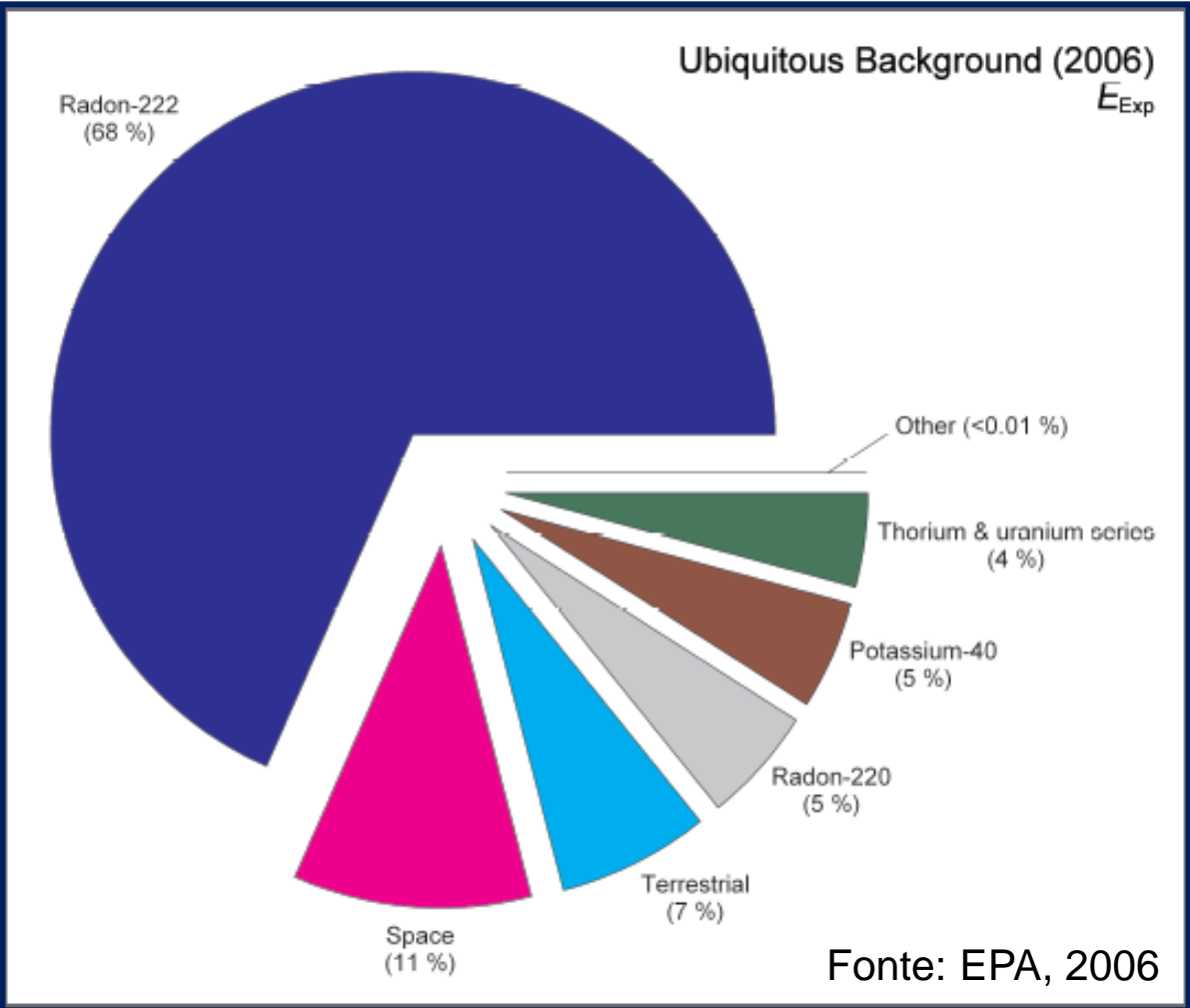
- ✓ A dose é no sistema respiratório.
- ✓ Deve-se à presença no ar de partículas que contém radionuclídeos emissores  $\alpha$  e  $\beta$  das cadeias de decaimento do  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ .
- ✓ Nesse contexto, destaca-se como componente dominante os produtos de decaimento do radônio.

# Tipos de Exposição Humana à Radiação Ionizante Natural

Fonte	Dose Efetiva Anual Média Mundial (mSv)	Variação Típica (mSv)
Exposição Externa		
Raios Cósmicos	0,4	0,3 - 1,0
Radiação Terrestre	0,5	0,3 - 0,6
Exposição Interna		
Inalação (principalmente radônio)	1,2	0,2 - 10
Ingestão	0,3	0,2 - 0,8
Total	2,4	1,0 - 10,0

Fonte: UNSCEAR, 2000

➤ O radônio e seus produtos de decaimentos são responsáveis por mais 50% da dose devido a fontes naturais



# Radônio

## CLASSIFICAÇÃO PERIÓDICA DOS ELEMENTOS

Com massas atômicas referidas ao isótopo 12 do carbono

	1A																	8A	
I	1 H 1,008 HIDROGÊNIO																	2 He 4,003 HELIUM	
II	3 Li 6,941 LÍTIO	4 Be 9,012 BERILIO																	10 Ne 20,18 NEÔNIO
III	11 Na 23,00 SÓDIO	12 Mg 24,30 MAGNÉSIO																	18 Ar 39,95 ARGÔNIO
IV	19 K 39,10 POTÁSSIO	20 Ca 40,08 CÁLCIO	21 Sc 44,96 ESCANDIÓ	22 Ti 47,88 TITÂNIO	23 V 50,94 VANÁDIO	24 Cr 52,00 CROMO	25 Mn 54,94 MANGANÊS	26 Fe 55,85 FERRO	27 Co 58,93 COBALTO	28 Ni 58,69 NÍQUEL	29 Cu 63,55 COBRE	30 Zn 65,38 ZINCO	31 Ga 69,72 GÁLIUM	32 Ge 72,59 GERMÂNIO	33 As 74,92 ARSENÍO	34 Se 78,96 SELÊNIO	35 Br 79,90 BROMO	36 Kr 83,80 CRÍPTON	
V	37 Rb 85,47 RUBÍDIO	38 Sr 87,62 ESTRÔNCIO	39 Y 88,91 ÍTRIO	40 Zr 91,22 ZIRCONIO	41 Nb 92,91 NÍQUELO	42 Mo 95,94 MOLIBDÊNIO	43 Tc (98) TECNÉCIO	44 Ru 101,1 RUTÊNIO	45 Rh 102,9 RÓDIO	46 Pd 106,4 PALÁDIO	47 Ag 107,9 PRATA	48 Cd 112,4 CÁDMIO	49 In 114,8 ÍNDIO	50 Sn 118,7 ESTÂNCIO	51 Sb 121,7 ANTIMÔNIO	52 Te 127,6 TELÚRIO	53 I 126,9 IODO	54 Xe 131,3 XENÔNIO	
VI	55 Cs 132,9 CÉSIO	56 Ba 137,3 BÁRIO	57-71 SÉRIE DOS LANTANÓIDIOS	72 Hf 178,5 HAFNIO	73 Ta 180,9 TÂNTALO	74 W 183,8 TUNGSTÊNIO	75 Re 186,2 RÊNIO	76 Os 190,2 ÓSMIO	77 Ir 192,2 IRIDIUM	78 Pt 195,1 PLATINA	79 Au 197,0 OURO	80 Hg 200,6 MERCÚRIO	81 Tl 204,4 TÁLIO	82 Pb 207,2 CHUMBO	83 Bi 209,0 BISMUTO	84 Po (209) PÓLONIO	85 At (210) ASTATÓ	86 Rn (222) RADÔNIO	
VII	87 Fr (223) FRÂNCIO	88 Ra (226) RÁDIO	89-103 SÉRIE DOS ACTINÍDIOS	104 Ku (261) KURATÓVIO	105 Ha (260) HÁFÊNIO	106 Unh UNHEXÍMIO	107 Uns UNSEPTÍMIO	108 Uno UNOCTÓ	109 Une UNENÉMIO										

### Série dos Lantanídeos

VI	57 La 138,9 LANTÂNIO	58 Ce 140,1 CÉRIO	59 Pr 140,9 PRASÉODÍMIO	60 Nd 144,2 NÍQUELO	61 Pm (145) PROMÉCIO	62 Sm 150,4 SAMÁRIO	63 Eu 152,0 EUROPIUM	64 Gd 157,3 GADOLÍNIO	65 Tb 158,9 TERBÍUM	66 Dy 162,5 DÍSPROSÍMIO	67 Ho 164,9 HÓLMIUM	68 Er 167,3 ERBÍUM	69 Tm 168,9 TULÍUM	70 Yb 173,0 YTERBÍUM	71 Lu 175,0 LUTÉCIO
----	-------------------------------	----------------------------	----------------------------------	------------------------------	-------------------------------	------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	------------------------------	----------------------------------	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------------	------------------------------

### Série dos Actinídeos

VII	89 Ac (227) ACTÍNIO	90 Th 232,0 TÓRIO	91 Pa (231) PROTÁCTÍNIO	92 U 238,0 URÂNIO	93 Np (237) NEPTEÚMIO	94 Pu (244) PLUTÓNIO	95 Am (243) AMÉRICIO	96 Cm (247) CURÍUM	97 Bk (247) BERQUÉLIO	98 Cf (251) CALIFÓRNIO	99 Es (252) EINSTEÍNIO	100 Fm (257) FERMIÓ	101 Md (258) MÉNDÉLÉVIO	102 No (259) NOBELÍO	103 Lr (260) LAWRÉNCIO
-----	------------------------------	----------------------------	----------------------------------	----------------------------	--------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------

CONVENÇÕES (s) = estado sólido (ℓ) = estado líquido (g) = estado gasoso (aq) = meio aquoso N = normal M = molar ΔH = variação de entalpia L = litro R = 0,082 atm · L / K mol N<sub>A</sub> = 6,02 × 10<sup>23</sup>

## Radônio (Características Gerais)

Número atômico	86
Peso atômico	222
Ponto de fusão	-71°C
Ponto de ebulição	-62°C
Características adicionais	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Incolor, inodoro e insípido</li><li>✓ Altamente solúvel em água e solventes orgânicos</li><li>✓ Radioativo</li></ul>

# Radônio

$^{238}\text{U}$



$^{226}\text{Ra}$



$^{222}\text{Rn}$

$^{235}\text{U}$



$^{224}\text{Ra}$



$^{219}\text{Rn}$

$^{232}\text{Th}$



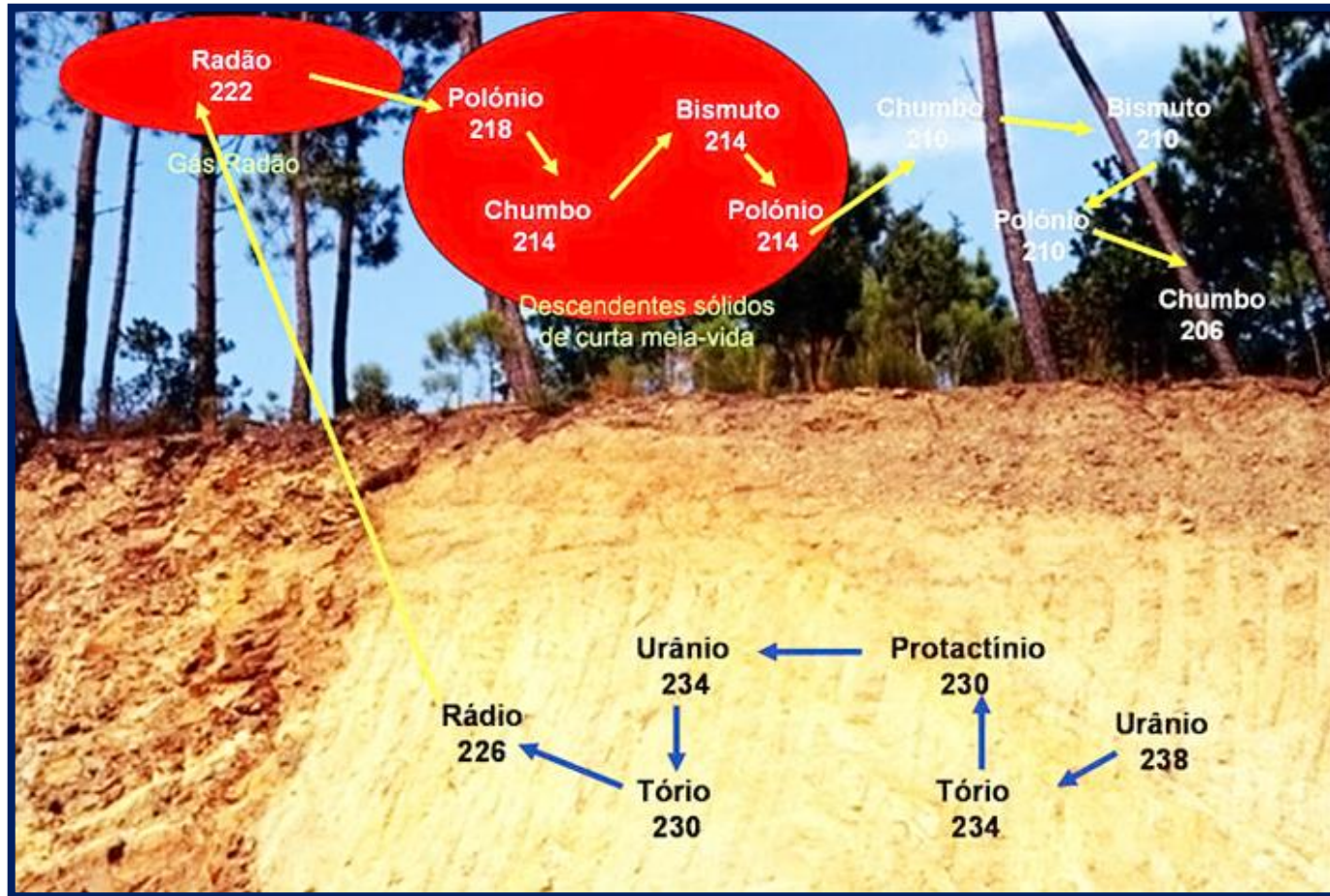
$^{223}\text{Ra}$



$^{220}\text{Rn}$



# A entrada do radônio na atmosfera: geração e mobilização



De acordo com dados da EPA (2010), o nível de Radônio nos Estados Unidos em média é de: 14,8 Bq/m<sup>3</sup> fora das casas.

## ***PRINCIPAIS FONTES NATURAIS DE RADÔNIO:***

- Rochas e Solos;
- Água;
- Materiais de Construção.
- Gás natural

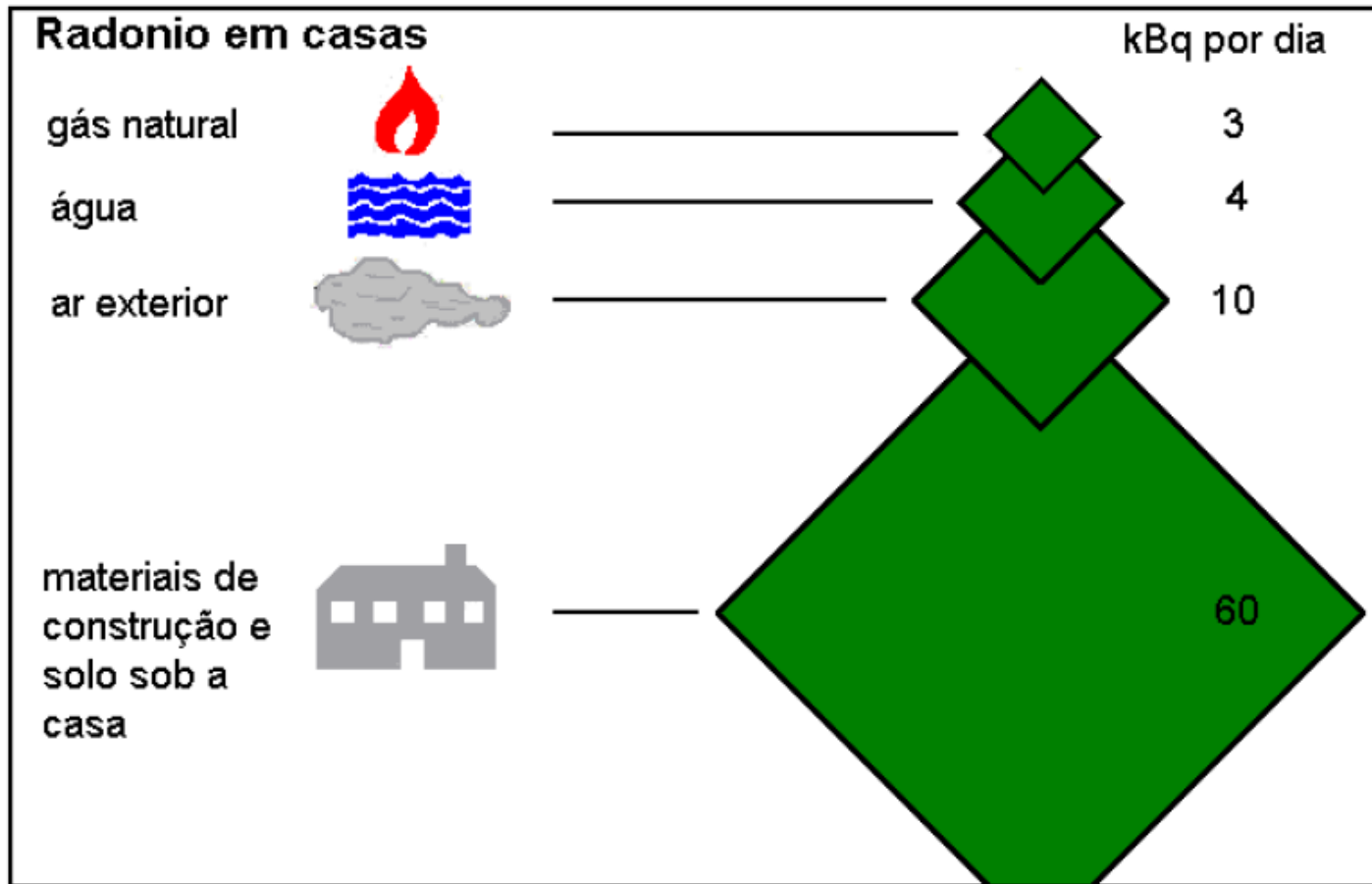


# O problema do radônio em residências



1. Trincas no chão
2. Junções
3. Trincas em paredes
4. Espaços entre andares
5. Espaço ao redor de canos
6. Cavidades dentro das paredes
7. Fontes de água

# Contribuição das principais fontes para o radônio no interior de residências



Estima-se que 95% do radônio provém dos solos e das rochas, 5% provém dos materiais de construção e menos de 1% é liberado a partir da água consumida.



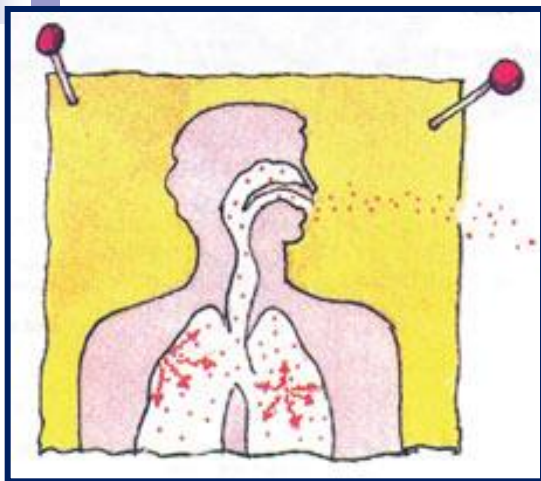
# Progênie do radônio em ambientes internos

Tabela – Propriedades do radônio e seus descendentes.

Radionuclídeos	Tempo de meia-vida	Energia alfa (MeV)	Energia beta (MeV)	Energia gama (MeV)
<sup>222</sup> Rn	3,824 d	5,49		
<sup>218</sup> Po	3,05 min	6,00		
<sup>214</sup> Pb	26,8 min		1,02; 0,70; 0,65	0,35; 0,30; 0,24
<sup>214</sup> Bi	19,9 min		3,27; 1,54; 1,51	0,61; 1,77; 1,12
<sup>214</sup> Po	164 μs	7,69		
<sup>210</sup> Pb	22 a		0,016; 0,061	0,05
<sup>210</sup> Bi	5,02 d		1,16	
<sup>210</sup> Po	138,3 d	5,30		
<sup>206</sup> Pb	estável			

## Progênie do radônio em ambientes internos

- ✓ Por serem partículas elétricas positivas, a progênie do radônio tende a aderir às partículas de aerossóis dispersas no ar, formando a fração anexada de tamanho igual à distribuição dos aerossóis no ambiente (20 a 500 nm de diâmetro).
- ✓ Quando o ar que contém o radônio e sua progênie é inalado, o radônio por ser um gás inerte é exalado imediatamente.
- ✓ As frações anexadas e não anexadas depositam-se no pulmão, especialmente no trato respiratório superior, e irradiam o tecido pulmonar ao decair.



Estudos epidemiológicos revelam uma forte correlação entre câncer de pulmão e exposição ao radônio. Em geral, aceita-se que radônio seja a segunda causa de câncer de pulmão depois do cigarro

Agente/Substância	Câncer
<b>Grupo I (IARC): Carcinógeno humano</b>	
Raios-X e raios gama	vários
Radiação solar	pele
<b>Radônio-222 e seus produtos de decaimento</b>	<b>pulmão</b>
Rádio-224, -226, -228 e seus produtos de decaimento	osso
Tório-232 e seus produtos de decaimento	fígado/leucemia
Radioiodos (Incluindo o iodo-131)	tireóide
Plutônio-239 e seus produtos de decaimento (aerossóis)	pulmão, fígado e osso
Fósforo-32	leucemia
Nêutrons	vários
Radionuclídeos emissores alfa	vários
Radionuclídeos emissores beta	vários
<b>Grupo 2A (IARC): Prováveis carcinógenos humanos</b>	
Radiação ultravioleta	Pele

Fonte: Word Cancer Report, 2003

A chance de uma pessoa adquirir câncer de pulmão depende:

- Da quantidade de Radônio existente em ambientes internos;
- Do tempo que esta pessoa passa nesses ambientes.

# Regulamentação do radônio

- No contexto internacional, os padrões de segurança e as recomendações quanto ao controle da exposição ao radônio são sistematicamente realizados pela:

*International Commission on Radiological Protection (ICRP)*

*World Health Organization (WHO)*

*International Atomic Energy Agency (IAEA)*

*U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)*

- No Brasil não há legislação oficial a respeito do radônio em residências. Atualmente, para minas subterrâneas o limite  $1000 \text{ Bq.m}^{-3}$  é adotado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).



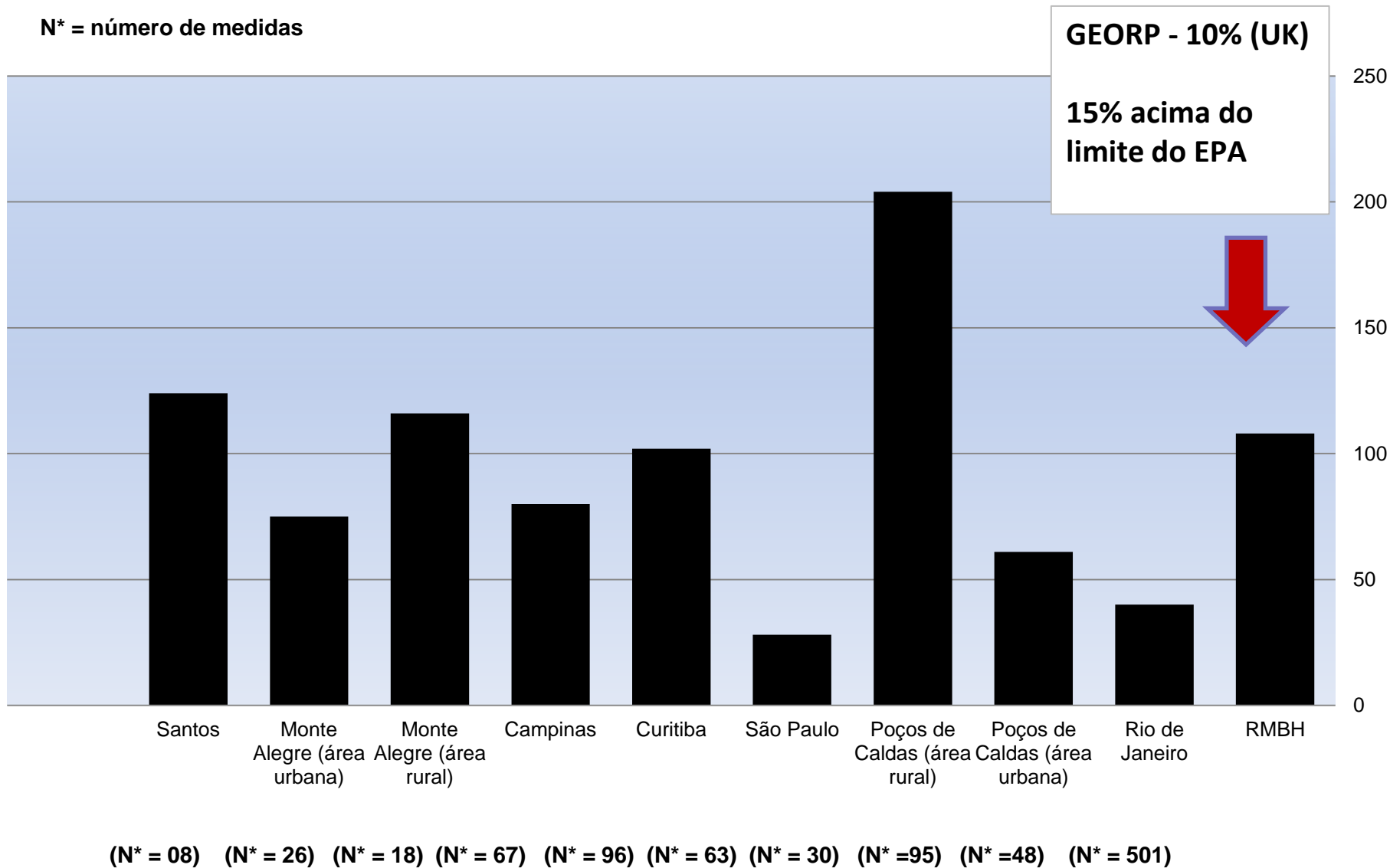
Fonte: UNSCEAR, 2006

País	Concentração de Radônio em Residências (Bq/m <sup>3</sup> )
Canadá	28,35
México	140
Estados Unidos	46
Argentina	35
Brasil	81,95
Chile	25
Cuba	7,7
Equador	200
Paraguai	28
Peru	32,29
Venezuela	52,5
França	62
Alemanha	50
Espanha	90,38
Espanha (àrea com alto background)	748,5

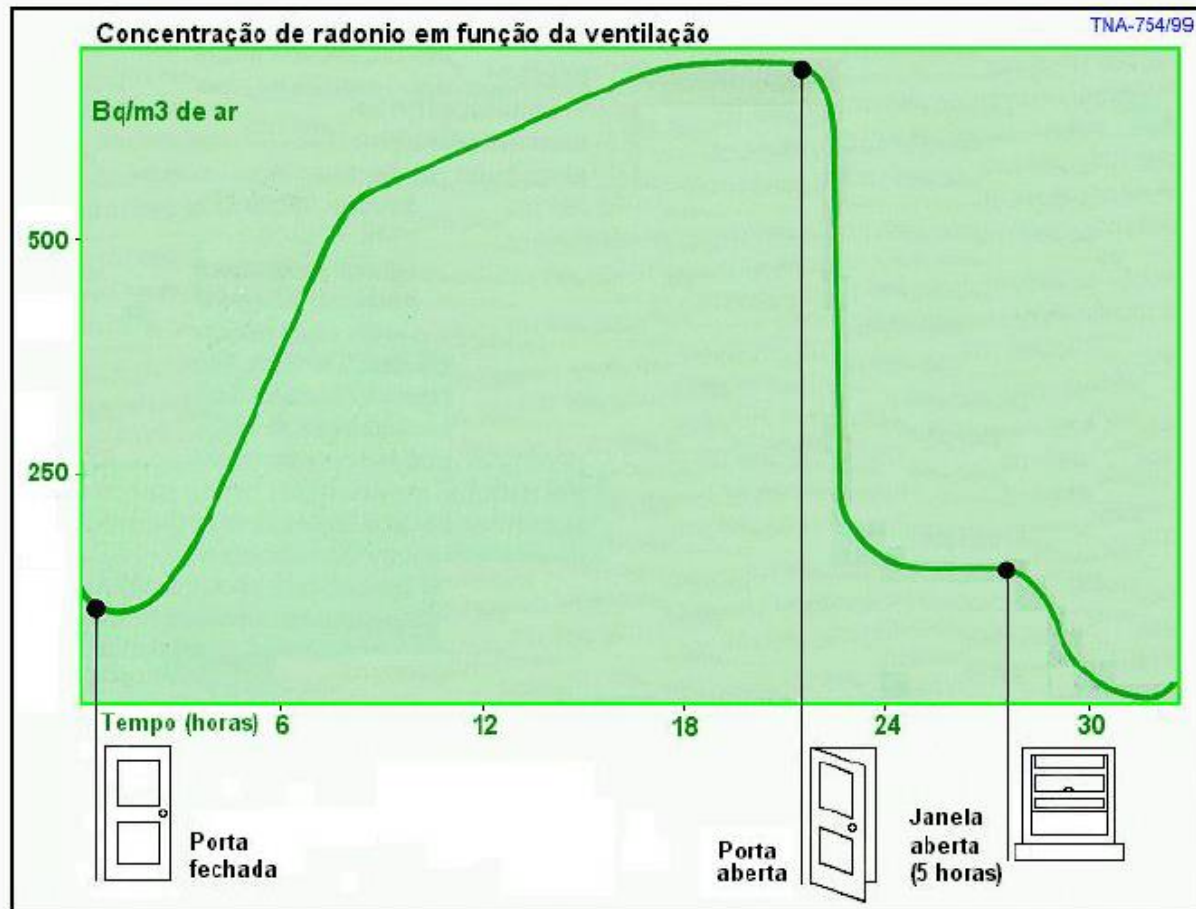
# Concentrações de $^{222}\text{Rn}$ em ambientes internos no Brasil

■ Concentração de atividade ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ )

N\* = número de medidas



# Mitigação e Prevenção - Radônio



**Variação da Concentração de Radônio em Residências**

## January is Radon Action Month

Test. Fix. Save a Life. Learn how about protecting your family from radon.

- > [Learn more about Radon](#)
- > [Mes Nacional de Radón](#)
- > [Read our press release](#)

JANUARY IS NATIONAL RADON ACTION MONTH

Learn how you can Test, Fix, Save a Life

### General Info By State



### Popular Topics

- > Acid rain
- > Air cleaners
- > Air ducts
- > Air pollution
- > Asbestos
- > Bed bugs
- > Internships
- > Lead
- > Mercury
- > Mold
- > Ozone
- > Pesticides

Administrator  
Lisa P. Jackson



[Biography](#) [Schedule](#) [Twitter](#) [Facebook](#)

# Conclusão

Nesse panorama científico verifica-se que existem muitos estudos a respeito da radioatividade natural. Em contrapartida, ressalta-se a necessidade de obter dados experimentais sobre radioatividade natural no Brasil já que tal tema ainda é pouco explorado. Isso auxiliará o estabelecimento de limitação da exposição ocupacional e dos indivíduos do público e o fornecimento de informações e parâmetros para a regulamentação e elaboração de norma brasileira. Nota-se tal importância visto que estudos preliminares no contexto brasileiro mostram a possibilidade de exposição à doses elevadas.

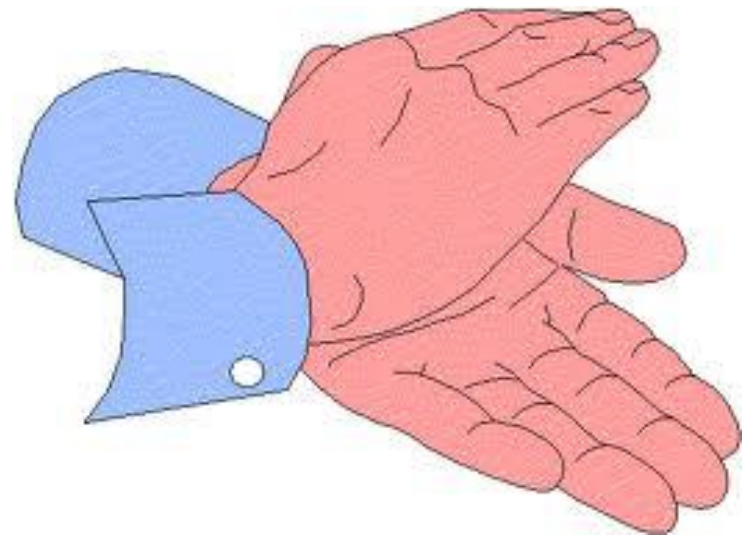


## Pesquisas

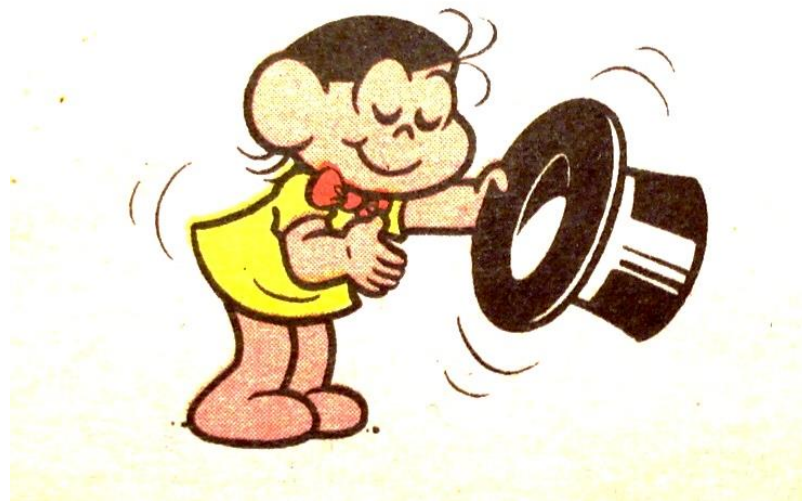
- ✓ Medidas da concentração de radônio no ar, água e solo;
- ✓ Estudo da radioatividade natural presente em materiais de construção;
- ✓ Saturação residual de óleo ( Rn como traçador de partição);
- ✓ Estudo da concentração de radônio em minas subterrâneas;
- ✓ Calibração de detectores.

# Agradecimentos

- ✓ À organização do SENCIR
- ✓ Ao DEN
- ✓ Ao CDTN/CNEN
- ✓ À todos pela atenção




Obrigada...





## Referências Bibliográficas

- ✓ ANDRELLO, Avacir Casanova .Aplicabilidade do  $^{137}\text{Cs}$  para Medir Erosão do Solo: Modelos Teóricos e Empírico. Tese (Doutorado em Física) – Universidade Estadual de Londrina – Departamento de Física, Londrina, PR, 2004.
- ✓ BONOTTO, D. M. Radioatividade nas águas: Da Inglaterra ao Guarani. Editora UNESP, São Paulo, 2004.
- ✓ CAMARGO, Iara Maria Carneiro. *Determinação da concentração de isótopos naturais de urânio e tório em amostras de água*. Dissertação (Mestrado em Ciências – área de Tecnologia Nuclear) – Comissão Nacional de Energia Nuclear - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, CDTN/IPEN, São Paulo, 1994.
- ✓ EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. “*Consumer’s Guide to Radon Reduction: How to Fix your Home*”. 402-K-06-094, 2006
- ✓ EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. “*Home Buyer and Seller’s Guide to Radon*”. 402-K-09-002, 2009.
- ✓ EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. “*Home Buyer and Seller’s Guide to Radon*”. 402-K-93-003, 1993.
- ✓ EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. “*Indoor Radon and Radon Decay Product Measurements Device Protocols*”. 402-R-92-004, 1992.
- ✓ EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. “*Protocols for Radon and Radon Decay Product Measurements in Home*”. 40.-R-92-003, 1993.
- ✓ ICRP - International Commission of Radiological Protection. “*Protection against Radon-222 at Home and at Work*”. Annals of ICRP publication 65, 23, Canada, United States, 1993.
- ✓ EISENBUD, M.; GESSEL, T. *Environmental Radioactivity*. San Diego, Califórnia, 1997.

- 
- ✓ MAZZILLI, B. P., MÁDUAR, M. F., CAMPOS, M. P. Radioatividade no Meio Ambiente e Avaliação de Impacto Radiológico Ambiental. Programa de Pós-Graduação Acadêmica. Programa de Tecnologia Nuclear. Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares, IPEN,
  - ✓ MARTINS, R. A. A Descoberta dos Raios X: O Primeiro Comunicado de Roentgen. Revista Brasileira de Ensino de Física. Vol. 20. No. 4. Dezembro. 1998.
  - ✓ MOURÃO, A. P. Física das Radiações e Radioproteção. Belo Horizonte. NEHOS/CEFET. Vol. 9. 2006.
  - ✓ NEVES, L. F.; PEREIRA, A. C. Radioatividade natural e ordenamento do território: o contributo das Ciências da Terra. *Geonovas*. No 18, p.103-114, 2004.
  - ✓ SANTOS, Talita de Oliveira Distribuição da Concentração de Radônio em Residências e outras Construções da Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) – Universidade Federal Minas Gerais – Departamento de Engenharia Nuclear, Belo Horizonte, 2010.
  - ✓ TAUHATA, L., Salati, I. P. A., Prinzió, R. D., Prinzió, A. R. D. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Quinta edição. Rio de Janeiro. 2003.
  - ✓ <http://www.fcf.usp.br/Ensino/Graduacao/Disciplinas/LinkAula/My-Files/Detectores.htm>
  - ✓ TURNER, J. E. *Atoms, Radiation, and Radiation Protection*. New York, 1995.
  - ✓ UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *Sources and Effects of Ionization Radiation*. Vol. I – Sources, Report to General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York, 2000.
  - ✓ WHO – World Health Organization. *World Cancer Report*. IARC Press, Lyon, 2003.