

Segurança e Proteção Radiológica

Monitoração e identificação de agentes radiológicos em emergência QBNRe

Luciano Santa Rita Oliveira

Mestre em Radioproteção e Dosimetria

Tecnologo@lucianosantarita.pro.br

Emergência Radiológica

- ***IRD / CNEN - DIEME***
 - *Divisão de Atendimento a Emergências Radiológicas*
 - *Tel.: (21) 9218-6433/6432 – plantonista*
 - *Tel.: (21) 9218-6602 – Chefia*
- ***DDQBN / CTEx***
 - *Subseção de Proteção Radiológica*
 - *Tel.: (21) 2410 – 6326 / 6327 / 6328 / 6330 / 6345*

Resumo

- Apresentar os diversas possibilidades de monitoração e identificação dos agentes radiológicos, caracterizando as diferenças entre monitoração e identificação e a influência das diversas tecnologias de detectores disponíveis no mercado nas ações de monitoração e identificação destes agentes.

Detecção das radiações



Detectores



Monitores



Identificadores



Tipos de detectores

- À Gás

- ✓ Geiger Müller – GM
- ✓ Câmara de ionização - CI
- ✓ Contador proporcional - CP



- Cintiladores

- ✓ Iodeto de sódio – NaI(Tl)
- ✓ Brometo de lantânio – LaBr₃(Ce)



- Semicondutores

- ✓ HPGe
- ✓ CZT
- ✓ CdTe



Motivação

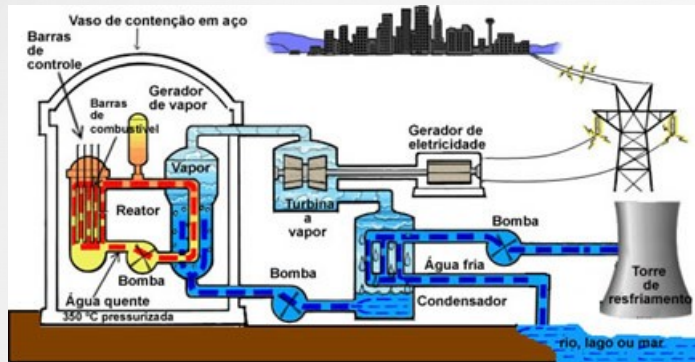


RDD e RED

- Ações de medição e identificação de agentes radiológicos são realizadas antes e durante a realização dos eventos para identificar a presença de um **RDD** (dispositivo de dispersão radiológico) ou um **RED** (dispositivo de exposição radiológica) neste caso não há explosivo associado.

DQBNRe

Material Nuclear



Material radiológico



Fontes Perigosas

Categoria	Fonte	Exemplos	Atividade (TBq)
1	Extremamente perigosa	Radioterapia (^{60}Co)	$4,0 \times 10^3$
2	Muito perigosa	Gamagrafia (^{60}Co , ^{192}Ir e ^{75}Se), Braquiterapia HDR (^{192}Ir e ^{60}Co)	$6,0 \times 10^1 - 1,0 \times 10^2$ $6,0 \times 10^0 - 1,0 \times 10^1$
3	Perigosa	Medidores de nível (^{60}Co e ^{137}Cs)	$5,0 \times 10^0$
4	Provavelmente não perigosa	Medidores de espessura (^{85}Kr e ^{90}Sr), Braquiterapia LDR (^{125}I e ^{198}Au)	$1,0 \times 10^{-1} - 1,0 \times 10^0$ $4,0 \times 10^{-2} - 8,0 \times 10^{-2}$
5	Não perigosa	PET (^{68}Ge) e MN	$3,0 \times 10^{-3}$



Iridio 192



Fontes Perigosas - ^{210}Po

^{210}Po emissions

Element: **Polonium (Z=84)**

Daughter(s): (α) **Pb-206**

Half-life ($T_{1/2}$): **138.3763 (17) d** $\Leftrightarrow$ **11.95571 (15) 10^6 s**

Decay constant (λ): **5.798E-08 s $^{-1}$**

Mass activity (A_m): **1.663E+14 Bq.g $^{-1}$**

Reference: **LNE-CEA/LNHB - 2008**

Data evaluation files: [Table](#) - [Comments](#) - [ENSDF](#)

Results file (ASCII text format): [Po-210.txt](#)

Default coincidence threshold: **10 %**

Emissions (8 lines) sorted by increasing energy

Energy (keV)	Intensity (%)	Type	Origin	Levels		Possible coincidence with (keV) / Possible sum of (levels)
				Start	End	
12.2015 (-)	0.00000384 (10)	X_L	Pb-206			
72.805 (-)	0.00000277 (10)	$X_{K\alpha 2}$	Pb-206			
74.97 (-)	0.00000466 (17)	$X_{K\alpha 1}$	Pb-206			
84.9527 (-)	0.00000159 (6)	$X_{K\beta 1}$	Pb-206			
87.5763 (-)	0.000000401 (20)	$X_{K\beta 2}$	Pb-206			
803.10 (5)	0.00123 (4)	γ	Pb-206	1	0	
4 516.66 (9)	0.00124 (4)	α	Po-210	0	1	
5 304.33 (7)	99.99876 (4)	α	Po-210	0	0	

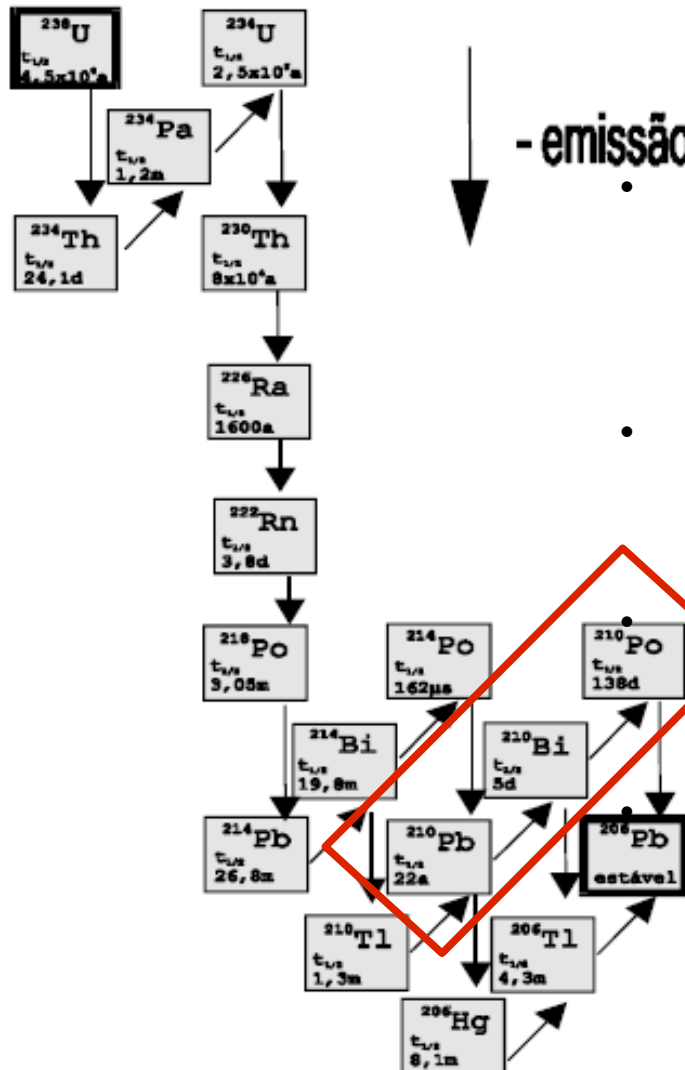


Alexander Litvinenko



YASSER ARAFAT

Fontes Perigosas - ^{210}Po



- emissão α

- emissão β

- O polônio-210 é um metal volátil, de baixo ponto de fusão, por isso, 50% se evapora após 45 horas numa temperatura de 326 K (53°C). Este isótopo é emissor de partículas alfa que apresenta uma meia-vida de 138,39 dias.
- Um miligrama deste metaloide emite tantas partículas alfa quanto 5 gramas de rádio. Um único grama de polônio-210 gera 140 watts de energia térmica.
- O polônio é um elemento raro na natureza, sendo encontrado nos minérios de urânio em aproximadamente 100 microgramas por tonelada.
- Quando o bismuto natural (Bi-209) é bombardeado com nêutrons ocorre a produção do Bi-210 , que é o pai do polônio. O polônio pode ser criado em quantidades de miligramas mediante este procedimento, usando o fluxo elevado de nêutrons encontrado nos reatores nucleares.

Agentes Radiológicos

- Radionuclídeos que são de maior preocupação para um RDD no Brasil:

- Cobalto (^{60}Co)
- Irídio (^{192}Ir)
- Selênio (^{75}Se)
- Césio (^{137}Cs)
- Califórnio (^{252}Cf)
- Amerício (^{241}Am)



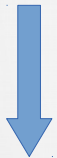
	Fonte	Meia vida ($T_{1/2}$)*		Fonte	Meia vida ($T_{1/2}$)*		Fonte	Meia vida ($T_{1/2}$)*
Médica	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6,01 h	Industrial	^{137}Cs	30,05 a	Natural	^{40}K	$1,25 \cdot 10^9$ a
	^{131}I	8,02 d		^{60}Co	5,27 a		^{226}Ra	$1,60 \cdot 10^3$ a
	^{201}Tl	3,04 d		^{192}Ir	73,83 d		^{232}Th	$1,40 \cdot 10^{10}$ a
	^{198}Au	2,69 d		^{75}Se	119,78 d		^{238}U	$4,47 \cdot 10^9$ a
	^{123}I	13,22 h		^{252}Cf	2,65 a			
	^{125}I	59,39 d		^{241}Am	432,6 a			

Ações de defesa contra um RDD e RED

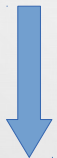
- Varredura



- 1ª linha



- 2ª linha



- 3ª linha

- Empregados forças de segurança do evento (particular e pública) e especialistas em DQBNRe

- Empregados forças de segurança pública e especialistas em DQBNRe

DQBNRe

- Neste contexto, sistemas de medição e identificação portáteis precisam possuir características de portabilidade, elevada sensibilidade para fótons e nêutrons, boa resolução em energia, boa eficiência de detecção numa vasta gama de energias e amplo intervalo de temperaturas de operação.

DQBNRe

- Medição e identificação de agentes radiológicos



- Monitoração

- Levantamento radiométrico
- Monitoração de superfícies
- Monitoração de pessoas

Ações de varredura

- Identificação



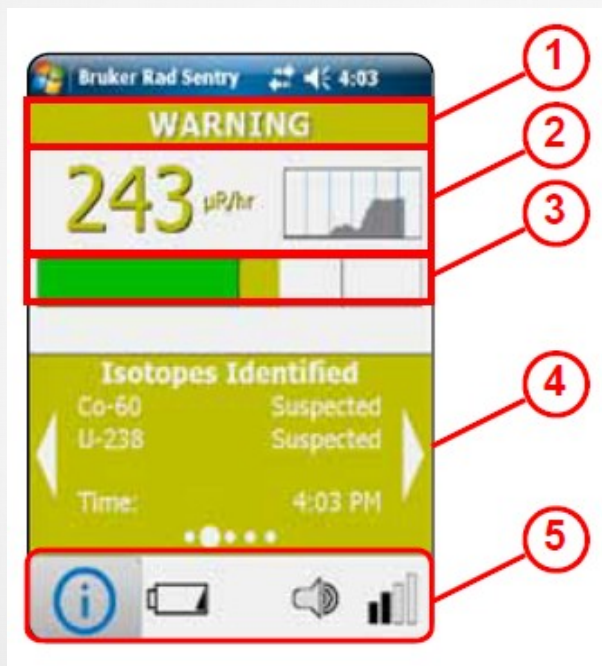
Ações de controle de acesso



Varredura

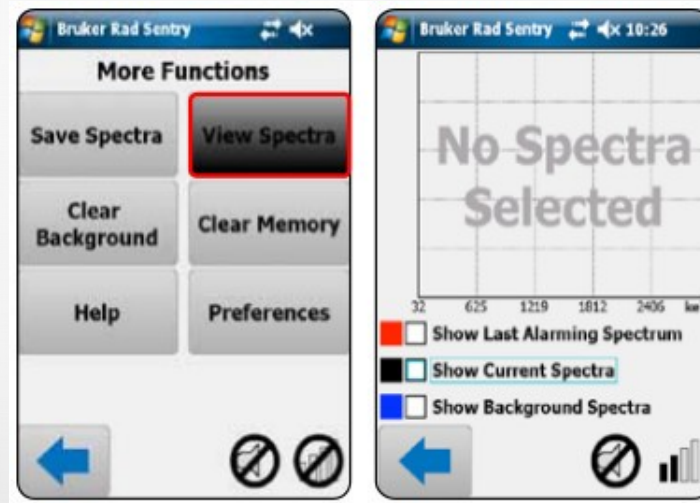
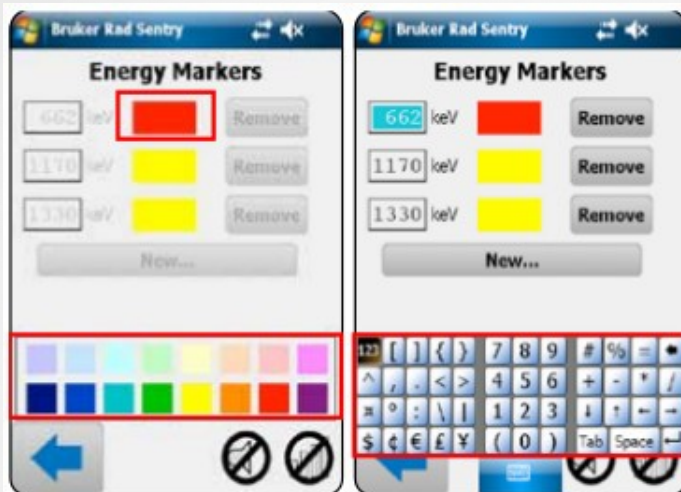


Varredura - Mochila

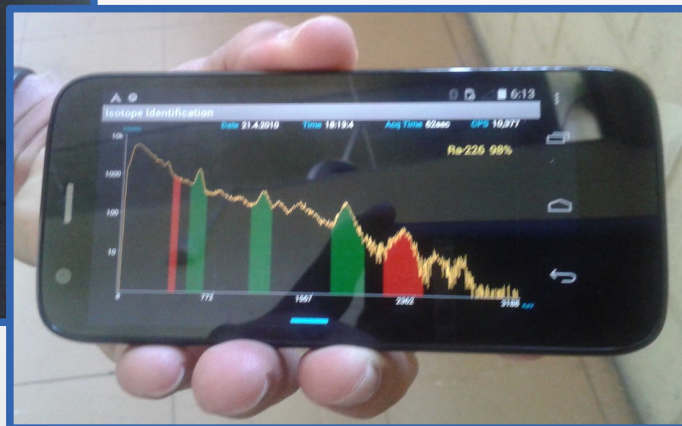
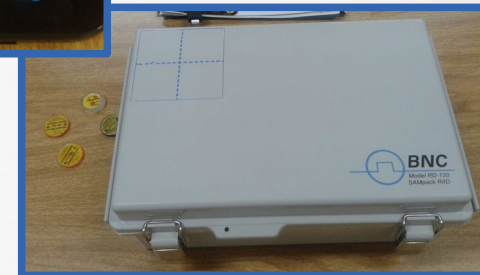


1. Barra de status de cabeçalho
2. Janela com taxa de exposição (R/h) ou dose (Sv/h) e histograma de medição
3. Barra de alerta relativo aos alarmes ajustados
4. Mensagens de alerta e identificação do agente radiológico
5. Informações do sistema, nível de bateria, controle de volume e status de comunicação entre o PDA e a mochila.

Varredura - Mochila



Varredura - Mochila



Identificadores radiológicos e nucleares

- Para a identificação inequívoca é importante utilizar um detector que exiba boa sensibilidade, boa eficiência de detecção e boa resolução numa faixa de energia até 3,0MeV.
- Uma boa eficiência de detecção permitirá, através da aquisição do espectro gama, uma identificação mais rápida do(s) radionuclídeo(s) e a quantificação de valores mais baixos de atividade (quantificável através da Atividade Mínima Detectável, AMD).
- Uma boa resolução permitirá resolver dois picos de energia próximos, correspondentes a radionuclídeos diferentes, permitindo a identificação dos mesmos. Uma resolução insuficiente impedirá a identificação dos radionuclídeos ou dará origem a uma falsa identificação.



Características dos identificadores

Detectores	NaI	CZT	LaBr3	CdTe	HPGe
Resolução (662 keV)	7%	3,5%	2,7%	0,6%	0,2%
Resolução (122 keV)	13%	6,3%	5,7%	1,5%	0,4%
Tipo	cintilador	semicondutor	cintilador	semicondutor	semicondutor
Volume (cm ³) ⁽⁴⁾	347 ⁽¹⁾ 174 ⁽²⁾	3,5 ⁽³⁾	44 ⁽³⁾	0,4 ⁽³⁾	203
Refrigeração	Não	Não	Não	0°C	-196,15°C
(Z) médio	32	49	41	49	32

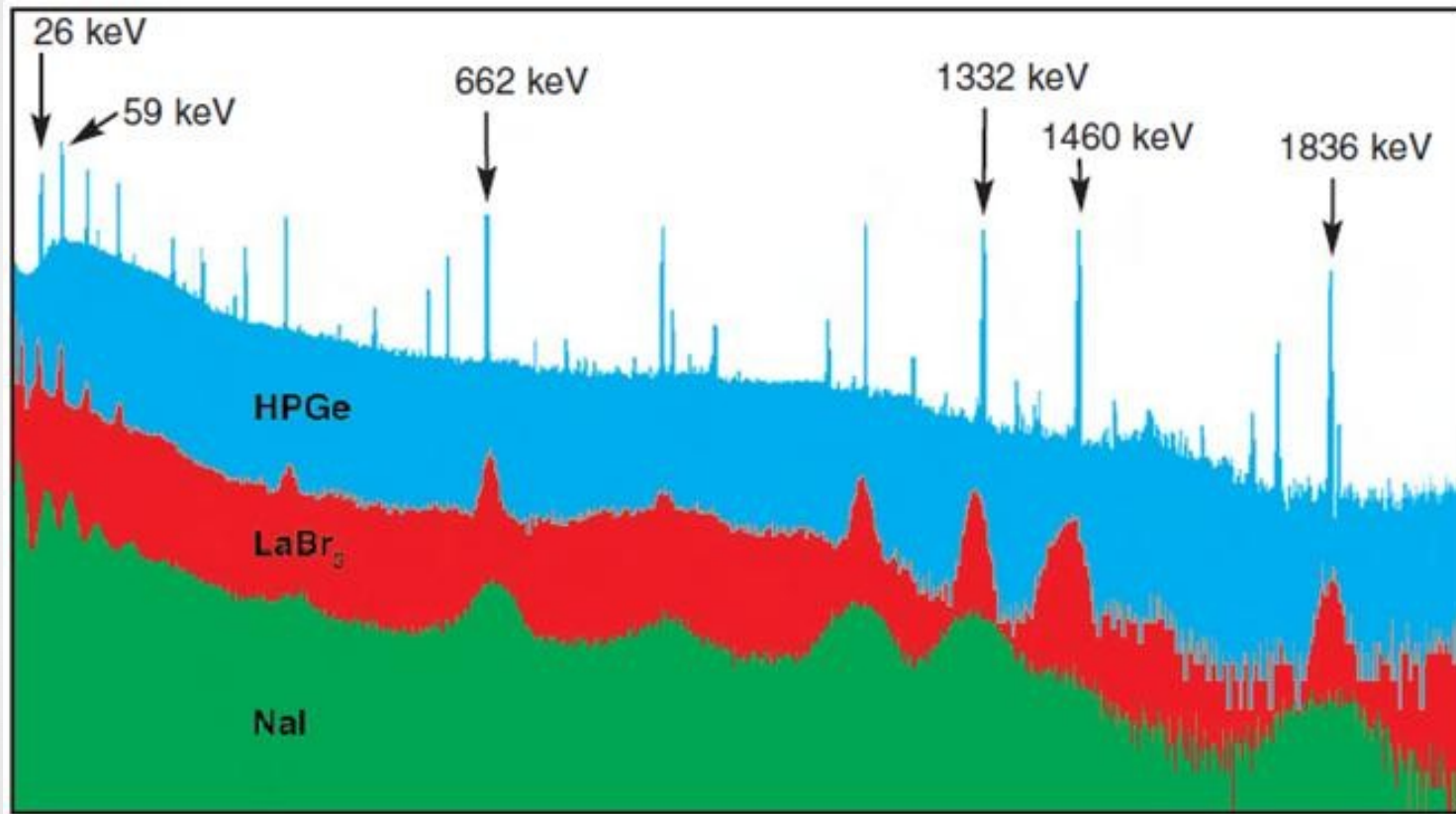
(1) Cristal utilizado na mochila radiológica

(2) Cristal utilizado no Spir-ID

(3) Valor máximo

(4) Quanto maior o volume sensível do detector, maior a sua eficiência total

Características de resolução dos identificadores



Espectrometria gama com detectores NaI(Tl), LaBr₃ e HPGe

Spir-ID identificador radiológico e nuclear



SPIR-ID: NaI (Tl)

Características

Tamanho e
volume do cristal

3" x 1,5"
174 cm³

Sensibilidade (γ)

3000 cps por μSv/h
para ¹³⁷Cs

Resolução

7,5%

SPIR-ID: LaBr₃(Ce)

Características

Tamanho e volume
do cristal

1,5 "x 1,5"
44 cm³

Sensibilidade (γ)

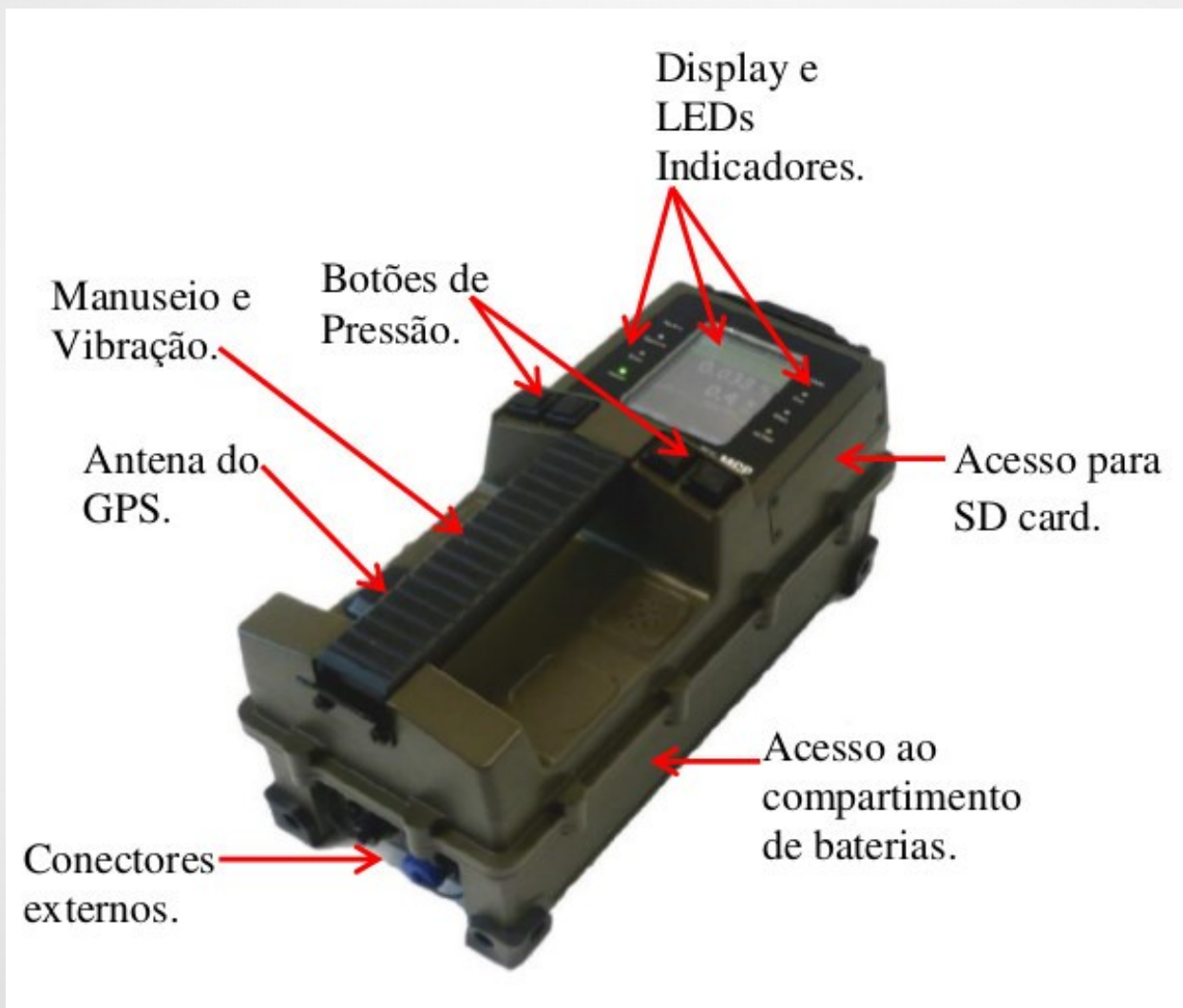
1200 cps por μSv/h
para ¹³⁷Cs

Resolução

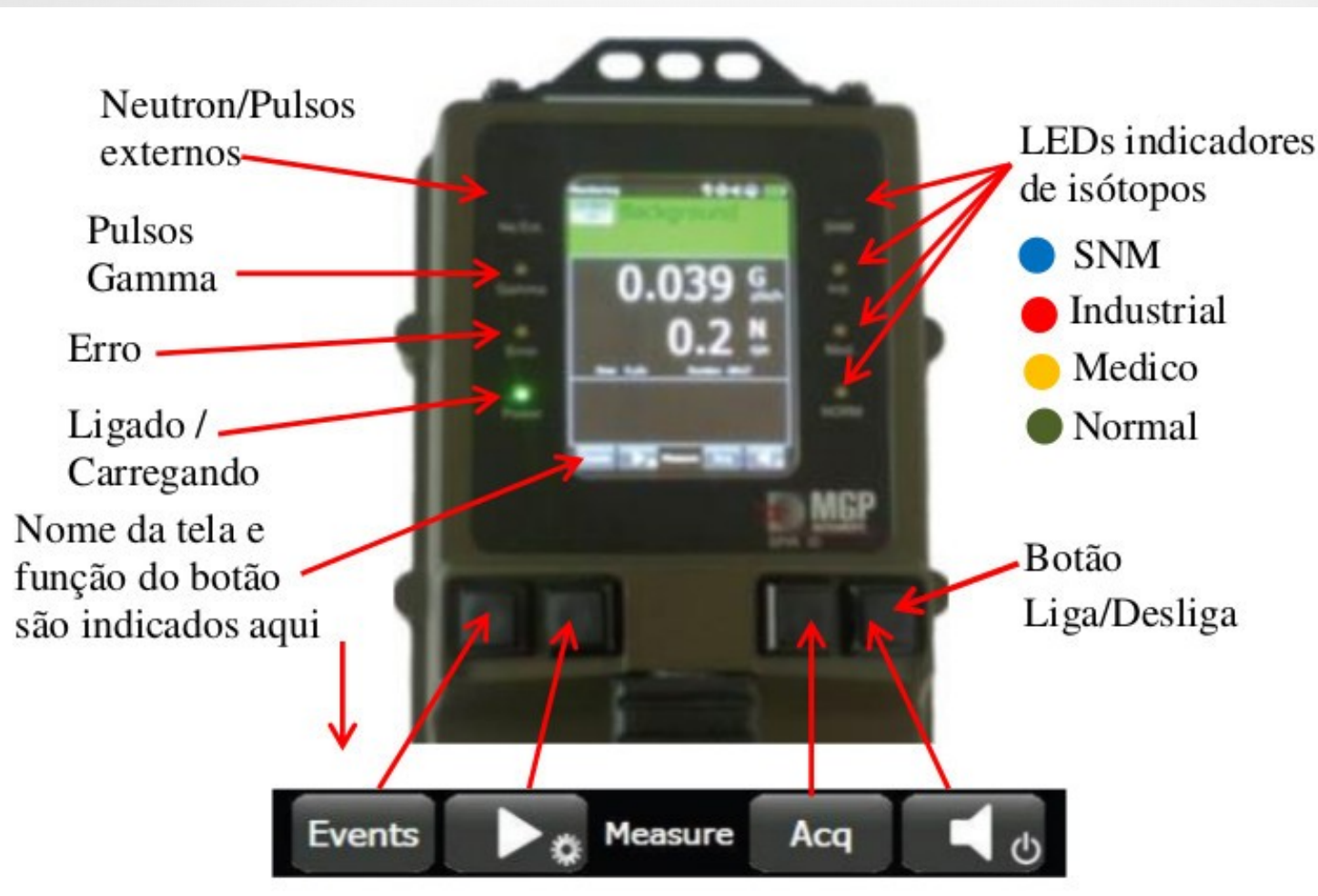
2,9%

- ***Características comuns: Detector de nêutron [LiI(Eu)]; tubo GM para alta taxa de gama; faixa de energia (γ) 25keV a 3MeV e nêutrons 0,025eV a 15MeV; faixa de taxa de dose[H*(10)]: 0,01 μSv/h - 10mSv/h; faixa de dose: 1μSv – 1Sv***

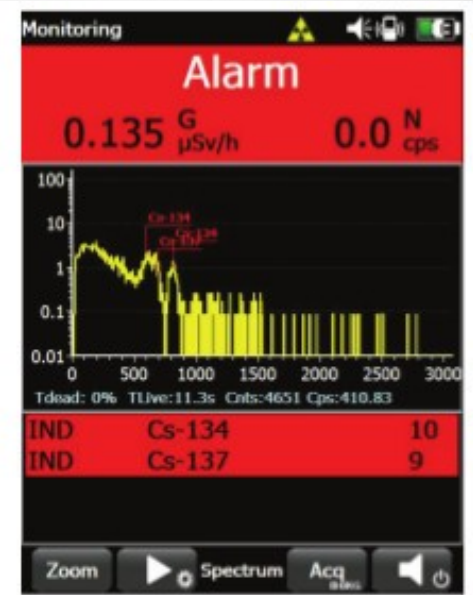
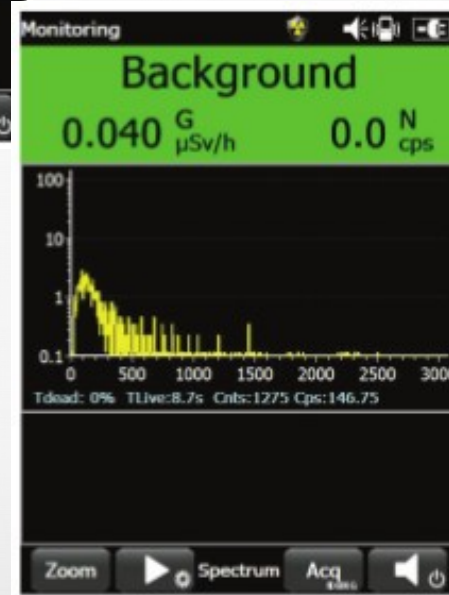
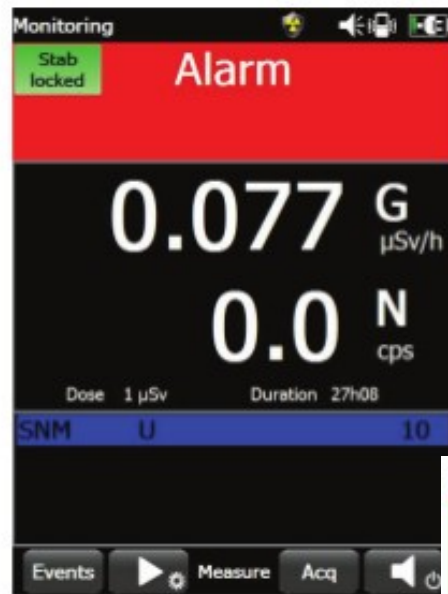
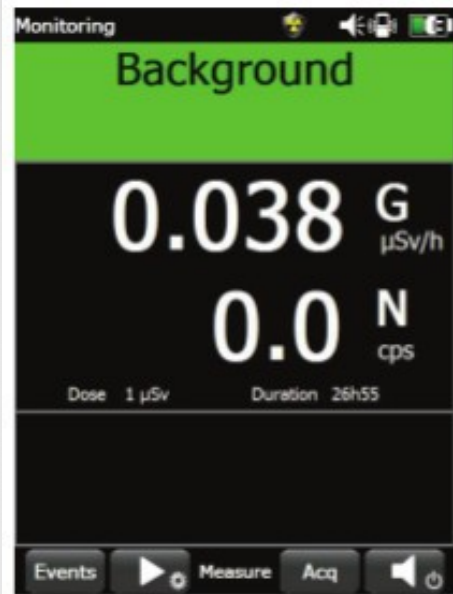
Identificador radiológico e nuclear



Identificador radiológico e nuclear



Identificador radiológico e nuclear



Identificador radiológico e nuclear

Operating mode
☒ Nuclear accident
☐ Source search

Isotope list

F-18/511keV	I-125	Np-237
Na-22	I-131	Pu
K-40	Xe-133	Am-241
Cr-51	Ba-133	H(N-g)
Mn-54	Cs-137	Bremsstrahlung
Co-57	Eu-152	Pb X rays
Co-60	Eu-154	SptCnt> + Pb X
Ga-67	Sm-153	-
Se-75	Ir-192	Th-228
Mo-99	Tl-201	U-232?
Tc-99m	Bi-207	511keV
Pd-103	Ra-226	Th
In-111	Th-232	Th/U-232?
I-123	U	lowTh

Exit

Mode More

Operating mode
☒ Nuclear accident
☐ Source search

Isotope list

Np-237	Pu risk
Pu	U risk
Am-241	SNM risk
H(N-g)	Unknown peak
Bremsstrahlung	Co-57?
Pb X rays	Ba ?
SptCnt> + Pb X	Cs/Am/Pu?
-	I/Ba ?
Th-228	Tl-201/U?
U-232?	Tc-99m?
511keV	Tl-201?
Th	I/Ba/Pu?
Th/U-232?	Neutron
lowTh	Unknown

Exit

Mode More

Operating mode
☒ Nuclear accident
☐ Source search

Enabled msg for Nuclear accident

F-18/511keV	Th-232	Unknown
K-40	U	
Co-60	Np-237	
Ru-106	Pu	
I-131	Am-241	
I-132	H(N-g)	
I-133	Bremsstrahlung	
Xe-133	Pb X rays	
Cs-134	SptCnt> + Pb X	
Cs-137	-	
Eu-152	Th-228	
Eu-154	511keV	
Ir-192	Unknown peak	
Ra-226	Neutron	

Exit

Mode More

Operating mode
☒ Nuclear accident
☐ Source search

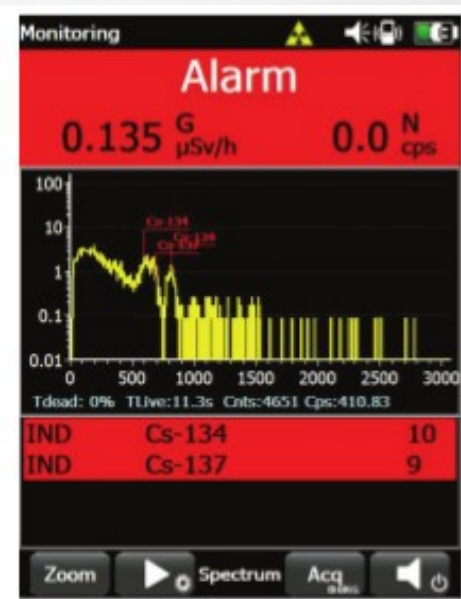
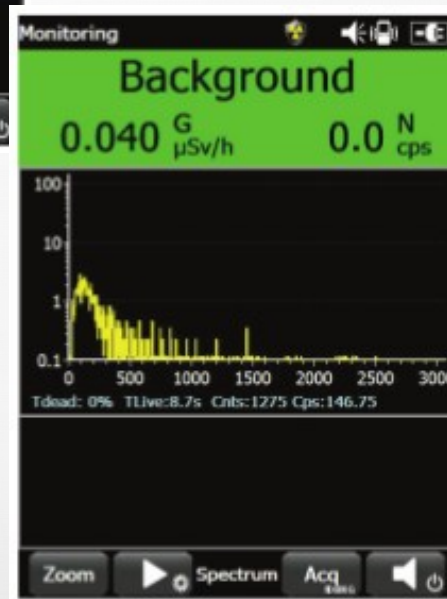
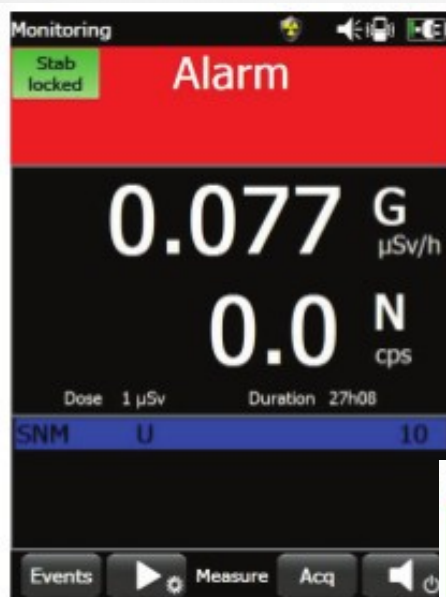
Enabled msg for Nuclear accident

Th-232	Unknown
U	
Np-237	
Pu	
Am-241	
H(N-g)	
Bremsstrahlung	
Pb X rays	
SptCnt> + Pb X	
-	
Th-228	
511keV	
Unknown peak	
Neutron	

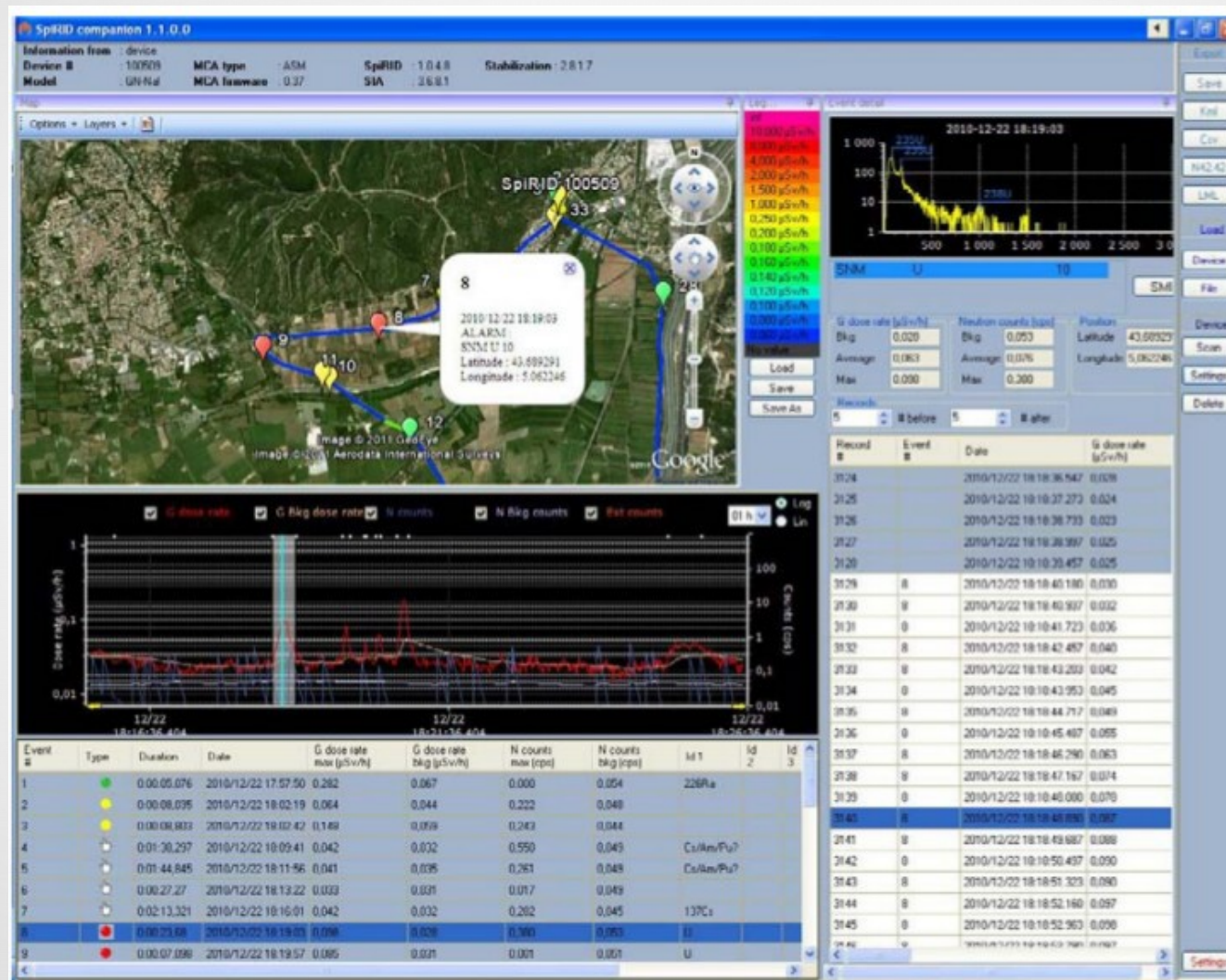
Exit

Mode More

Identificador radiológico e nuclear



Identificador radiológico e nuclear



Limites de Doses Individuais

- **Em 5 anos: 100mSv**
- **Anual: 50mSv**
 - **Recomendado (média): 20mSv**
- **Mensal: 4mSv**
- **Semanal: 1mSv**
- **Hora: 25 μ Sv**

Fonte: CNEN

Segurança e Proteção radiológica

- **Seção Defesa Nuclear (SDN) – DDQBN/CTEx**
 - **Subseção de Proteção Radiológica**
 - **Tel.: (21) 2410-6324 / 6327 / 6330 / 6809 /1328**

Obrigado

Monitoração e identificação de agentes radiológicos em emergência QBNRe

Seção Defesa Nuclear – DDQBN/CTEx

Subseção de Proteção Radiológica

Luciano Santa Rita Oliveira

luciano@ctex.eb.br