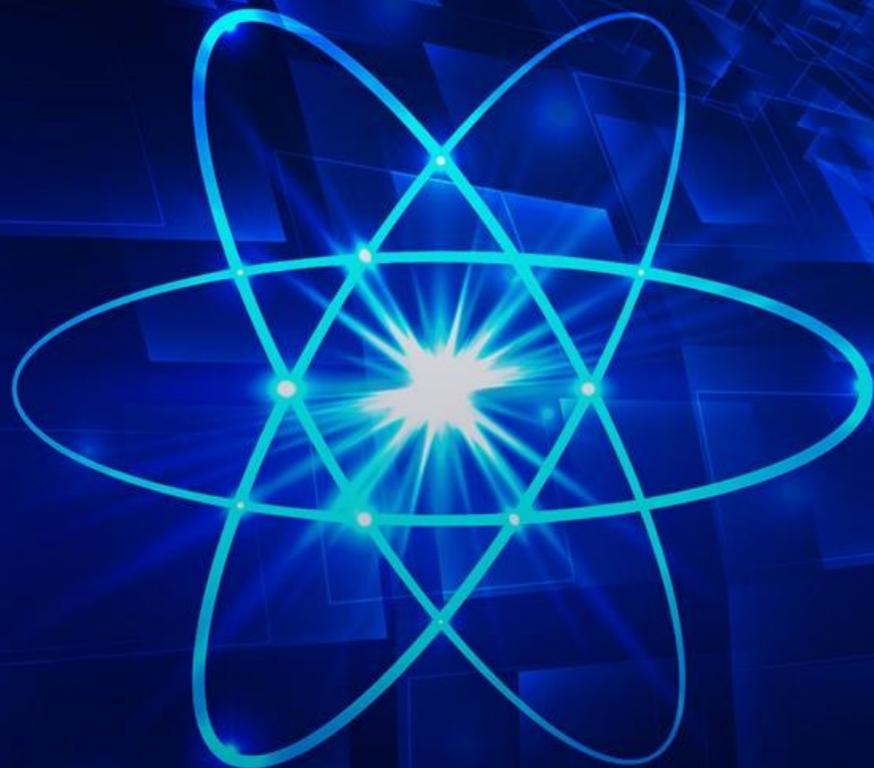


Comissão Nacional de Energia Nuclear



# Métodos analíticos aplicados em amostras NORM: Radiometria

**Nivaldo Carlos da Silva**  
LAPOC/CNEN



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÃO





## A HRGS parece ser uma boa solução (NORM)

- Os radionuclídeos mais importantes (Ra-226, Ra-228, Pb-210) ou seus filhos de meia-vida curta são emissores de raios gama.
- É possível estimar a concentração de U-238, e até de Th-232, dependendo da composição química e de sua concentração.
- A maioria das amostras são “sólidas”.
- As concentrações de radionuclídeos são normalmente altas o suficiente para serem quantificadas.



# Espectrometria de raios gama de baixa e alta resolução (HRGS): infraestrutura LAPOC/CNEN

## HPGe

- Nove espectrômetros (8 Mirion e 1 Ortec) com Detectores HPGe com eficiência entre 10 % e 50% , incluindo detectores para baixa de energia.
- Espectrômetro portátil ISOCS (Mirion) .

## NaI

- Espectrômetro ORTEC com detector de 3 pol. x 3 pol.
- Espectrômetro portátil Mirion Inspector 2000.

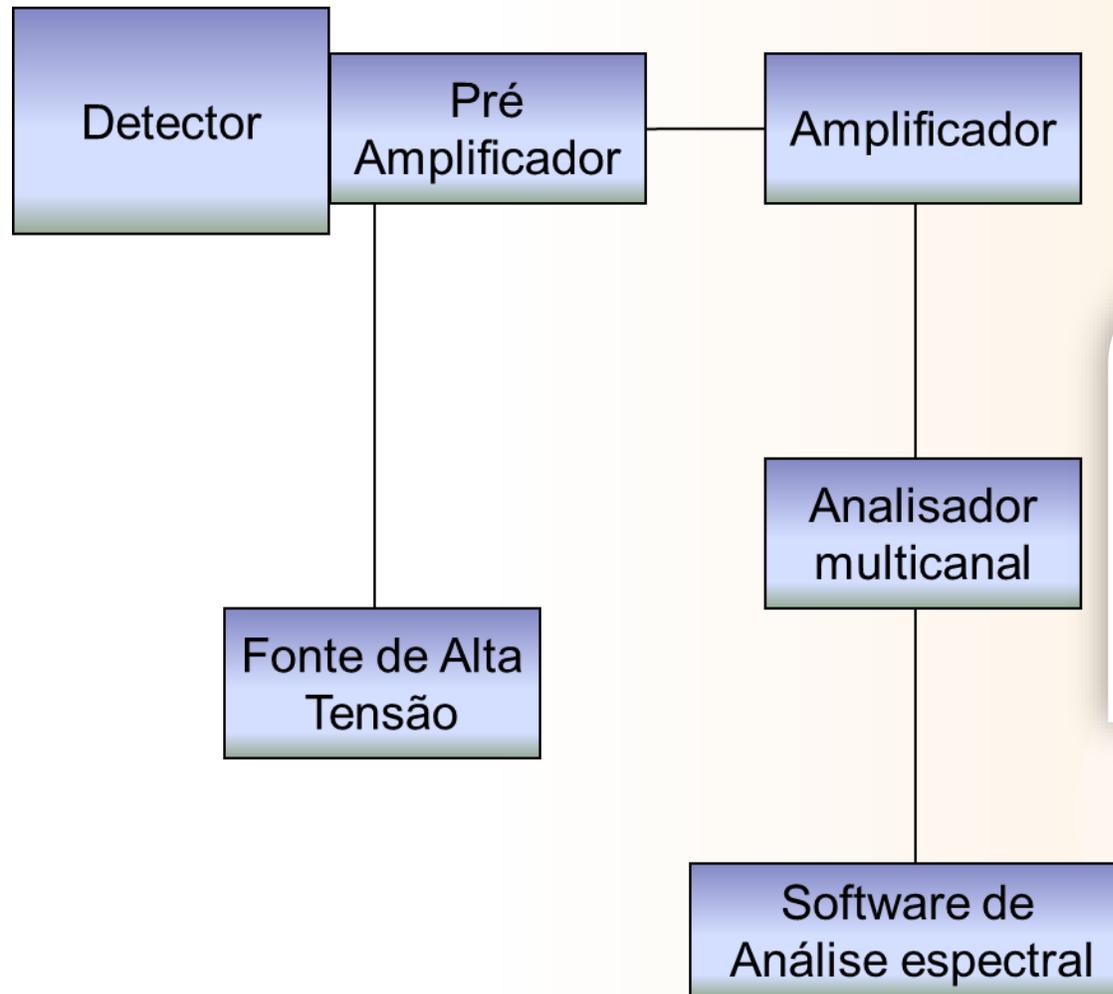


# Espectrometria gama de baixa e alta resolução: Equipe

- Um tecnologista
  - Dois técnicos
- Um auxiliar de laboratório



# HRGS: Configuração básica



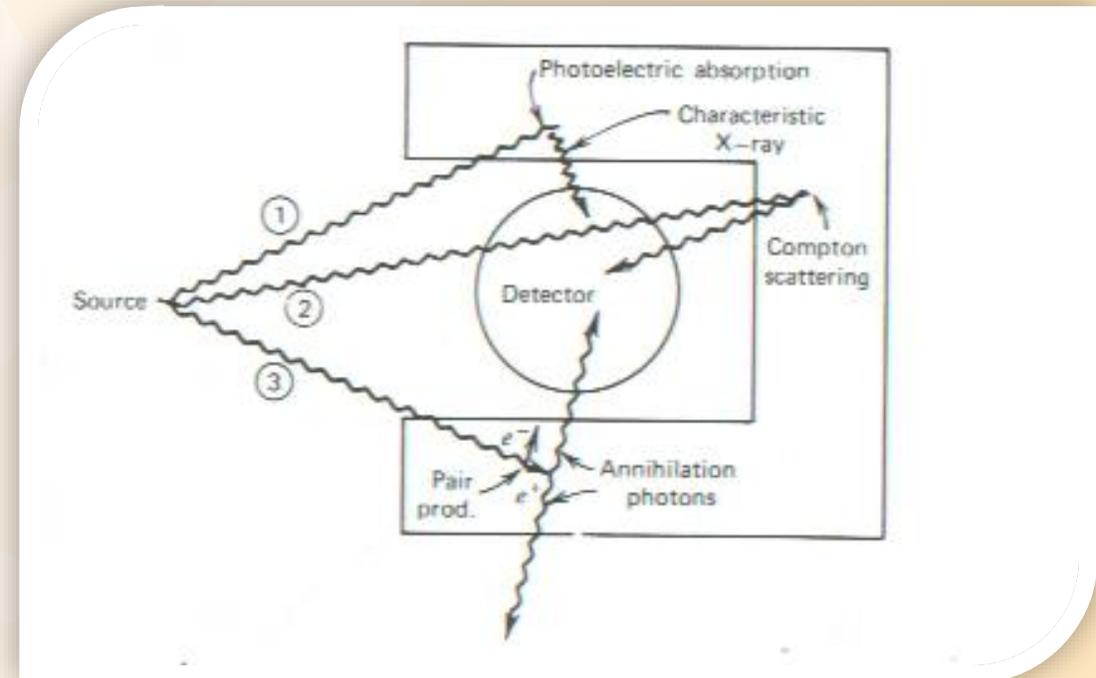
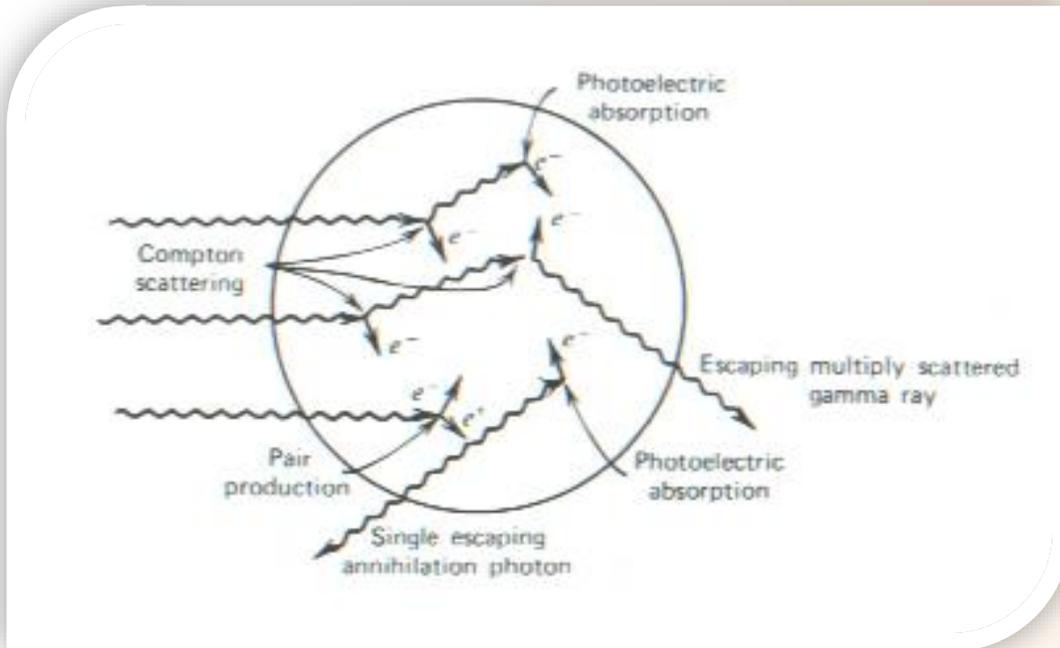


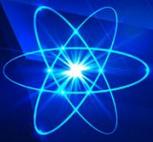
# HRGS lab: Configuração básica



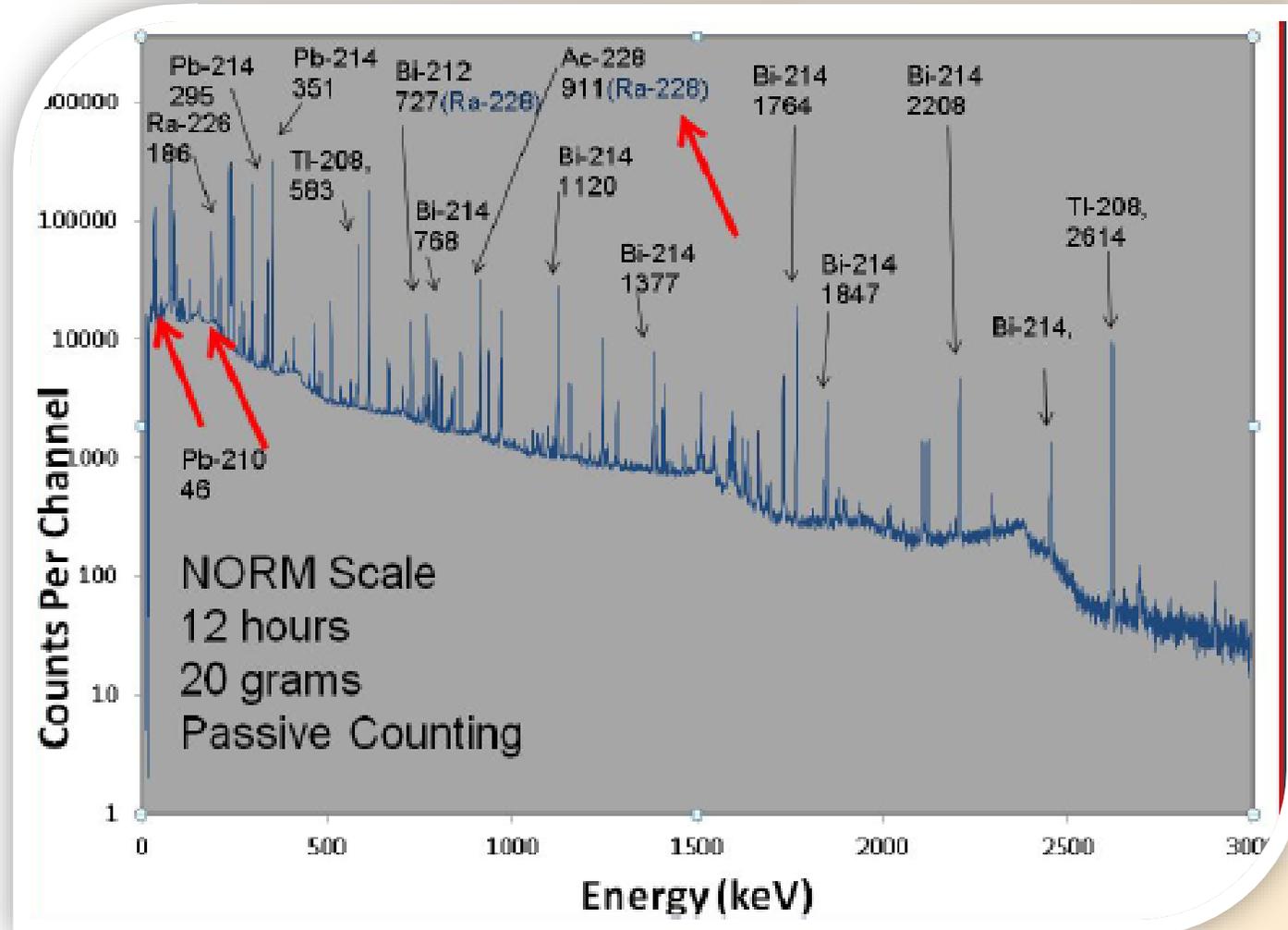


# HRGS: interação da radiação gama com o HPGe e blindagem





# Espectro HRGS: NORM





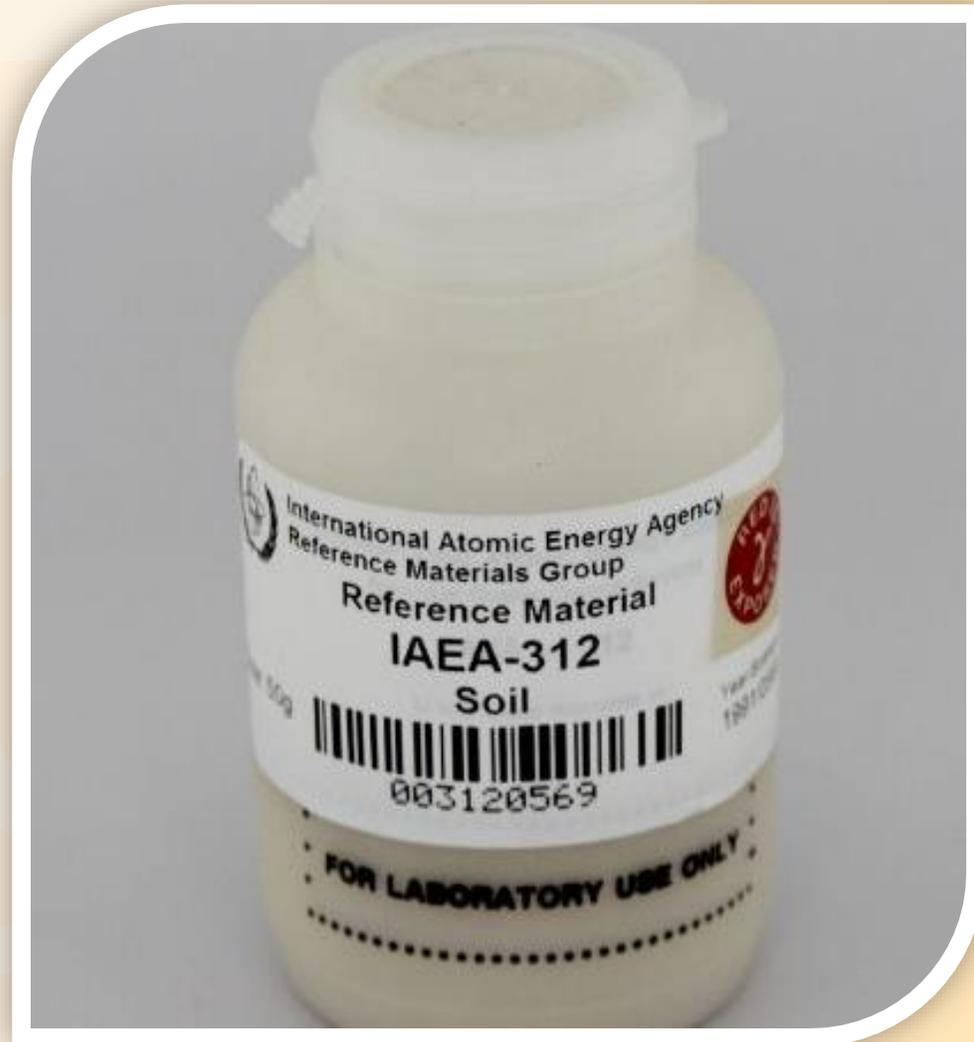
# HRGS lab: calibração em eficiência (CRM)

## Vantagens

- Medição direta, sem modelagem matemática.
- Não necessita da composição química.
- Procedimento amplamente aceito.

## Desvantagens

- Disponibilidade de CRM (tipo e quantidade) da mesma matriz e nível e concentração da amostra
- Correção de autoabsorção para baixas energias.





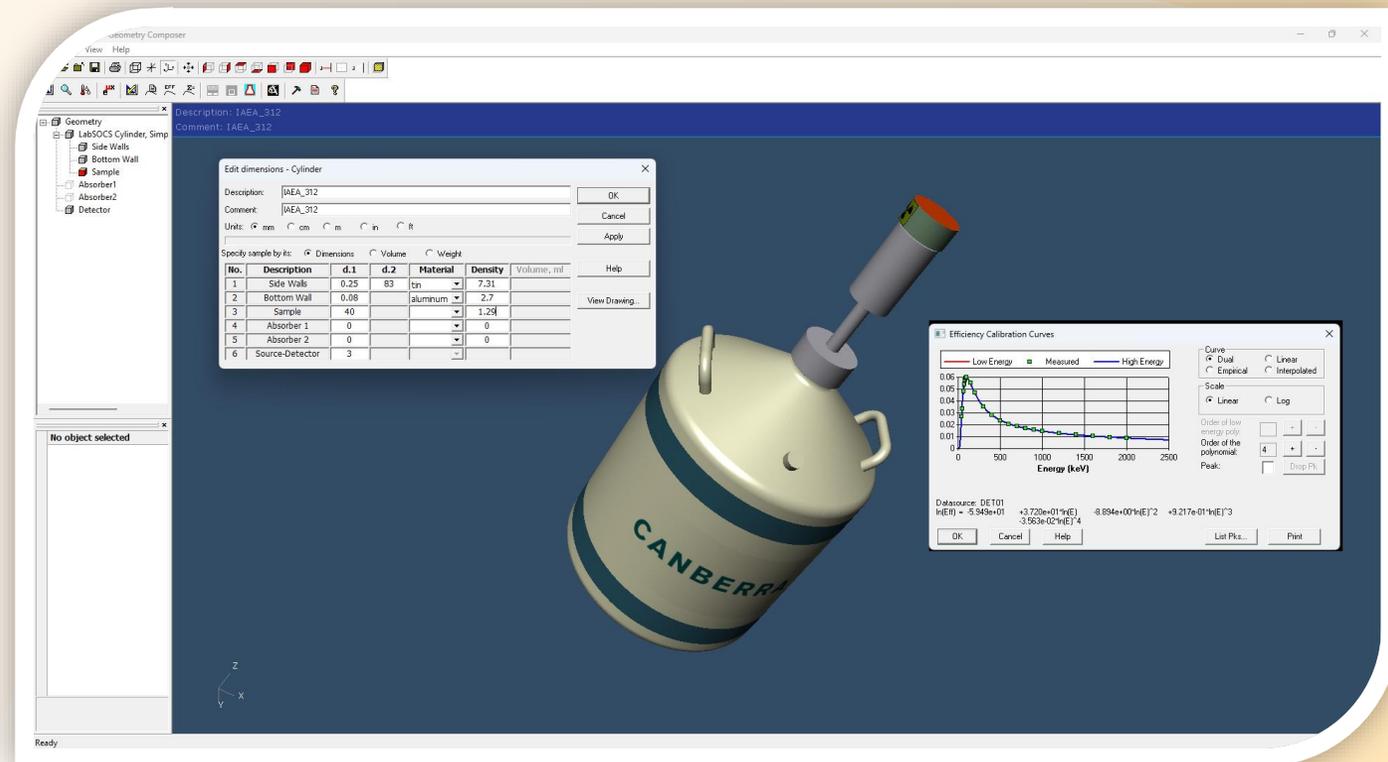
# HRGS: calibração em eficiência (software)

## Vantagens

- Versatilidade: várias geometrias e com várias matrizes de amostras
- Não necessita de CRM.

## Desvantagens

- Conhecimento da composição química.
- Não é prontamente aceito.





# HRGS: Garantia da qualidade

- Validação dos procedimentos de análise (o usar procedimentos standards ISO, ASTM)
- Materiais de referência certificados – CRM
- Participação em exercícios de intercomparação laboratorial.
- Verificação periódica dos parâmetros importantes para a análise (background, eficiência, resolução)
- Acreditação ISO 17025:2017



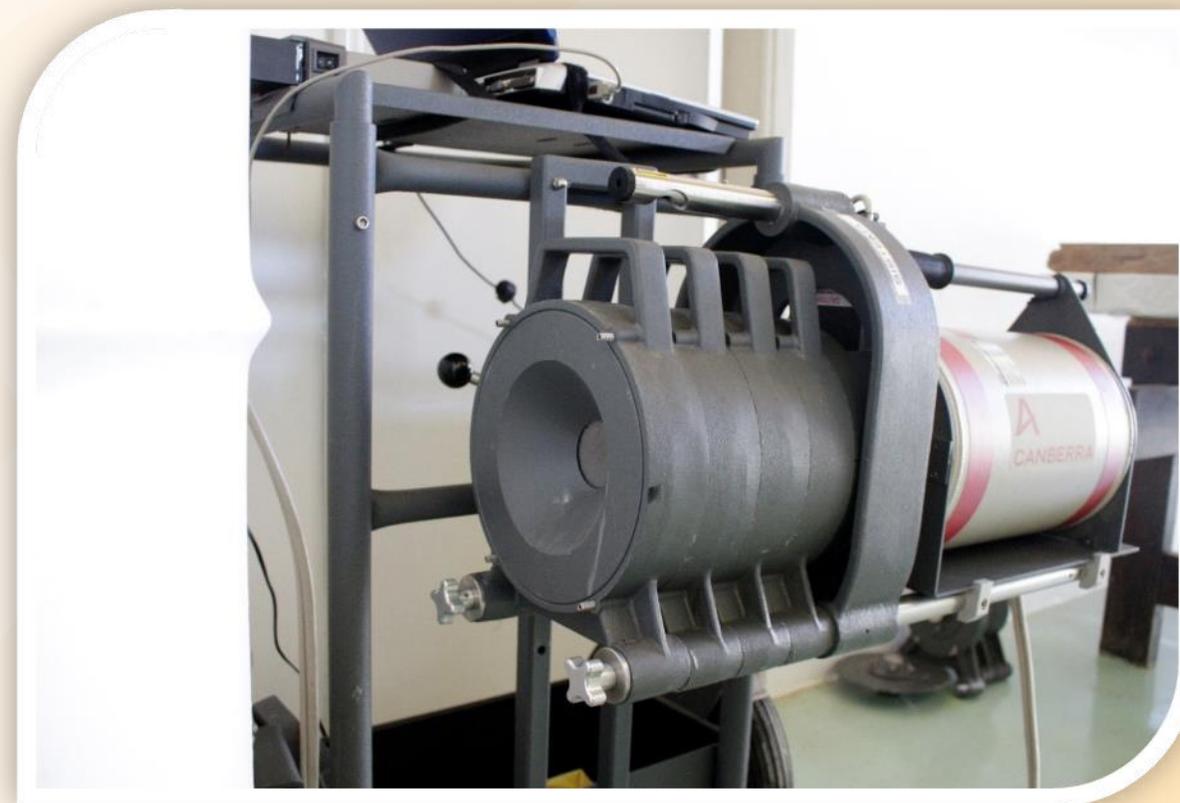
# HRGS (Lab): ISO 17025 : 2017





# HRGS: análise *in situ* (CANBERRA ISOCS)

- Detector HPGe caracterizado GX2020 com 20 % eficiência relativa.
- 1.77 keV de resolução em 1332 keV
- Blindagem e colimador
- Carro para o transporte





# HRGS: análise *in situ*





# HRGS: análise *in situ*







# HRGS *in situ*: “calibração” da eficiência

200 LITER DRUM OF WATER AT 1 METER  
Date: October 10, 2000 ISOCS Version: v4.0

This is a standard 55 gallon waste drum, 90% full of water.  
It is 1 meter from the detector on axis. The source data  
comes from MCNP.

ISOCS Geometry Parameters  
Template: SIMPLE CYLINDER  
Detector: 60% (S/N 3222)  
Collimator: NONE

Item	d.1	d.2	d.3	d.4	d.5	Material	Density	Conc.
(1) Container	0.1	58.8	82.4			Fe	7.86	
(2) Src - Top	0							
(3) Src - Bottom	74.16					Water	1	1
(4) Absorber 1								
(5) Absorber 2								
(6) Src-Det	100	0	0	0	0			

Air: Temp: 0 C Rel. Hum.: 0% Bar. Press.: 0 mm Hg  
Convergence: 0.1%  
Units: Length: cm Density: g/cc

### Comparison Results

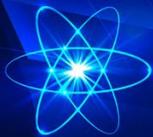
Energy (keV)	ISOCS efficiency	Measured			Ratio (ISOCS/Meas)
		efficiency	1 $\sigma$ unc	2 $\sigma$ rel. unc	
60	2.80E-06	2.88E-06	4.03E-07	2.80E-01	0.97
75	6.94E-06	5.67E-06	5.39E-07	1.90E-01	1.22
100	1.27E-05	1.28E-05	7.70E-07	1.20E-01	0.99
200	1.85E-05	1.91E-05	9.56E-07	1.00E-01	0.97
300	1.72E-05	1.71E-05	9.43E-07	1.10E-01	1.00
500	1.48E-05	1.55E-05	8.53E-07	1.10E-01	0.96
750	1.32E-05	1.25E-05	7.52E-07	1.20E-01	1.05
1000	1.25E-05	1.40E-05	8.39E-07	1.20E-01	0.90
1500	1.12E-05	1.01E-05	7.07E-07	1.40E-01	1.11
2000	1.01E-05	1.01E-05	7.05E-07	1.40E-01	1.01

Dataset	Mean Ratio	Relative Std Dev	ISOCS Std Dev
<150 keV	1.03	0.11	0.07
>150 keV	0.98	0.06	0.02
All	0.99	0.07	0.03



## Vantagens da HRGS *in situ*

- O resultado final em concentração de atividade é consistente com as normas brasileiras.
- Fornece resultados semelhantes aos obtidos por amostragem representativa e medições laboratoriais.
- Redução significativa no tempo de caracterização, com resultados fornecidos imediatamente após a medição.



## Vantagens da HRGS *in situ*

- Redução significativa da exposição dos trabalhadores.
- Custos semelhantes aos de amostragem representativa e medições laboratoriais.



## Desvantagens da HRGS *in situ*

- Conhecimento prévio da composição e densidade do NORM (resíduo) como é exigido no software de compositor de geometria.
- Transporte de equipamentos pesados e delicados.
- Suprimento em campo de LN2.

Comissão Nacional de Energia Nuclear

# Obrigado!

LAPOC/CNEN

**Nivaldo Carlos da Silva**

E-mail: [nivaldo.silva@cnen.gov.br](mailto:nivaldo.silva@cnen.gov.br)

Contato: 35 37167037



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÃO

