

Comissão Nacional de Energia Nuclear LAPOC

Proteção Radiológica Ambiental

Heber Caponi

heber.alberti@cnen.gov.br

Suporte desde 2010 para a DIMAP/CNEN – SIG Instalações NORMs

Formação Acadêmica: Eng. Ambiental & Geociências

Área de atuação: Hidrologia/Geoquímica/Geoprocessamento

Visão generalista, medidas em campo e mapeamento

Composição da Crosta Terrestre

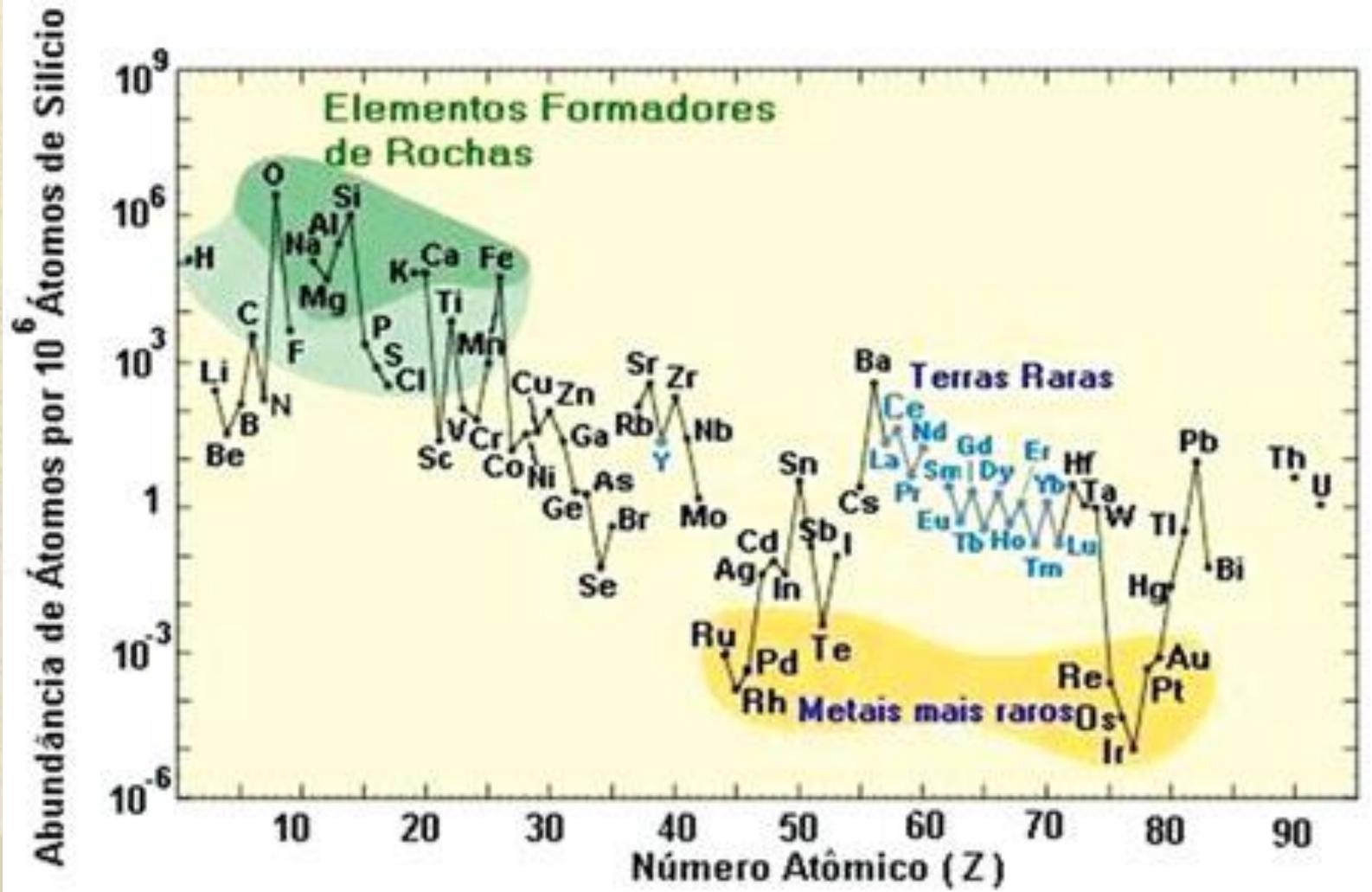


Tabela 1- concentrações médias de U em alguns tipos de rochas

ROCHAS		U (ppm)
ÍGNEAS	Graníticas	4,19
	Gabróides	0,84
	Ultramáficas	0,022
	Ecogitos	0,20
	Intrusivas alcalinas	9,82
	Basálticas	0,43
SEDIMENTARES	Arenitos	1,48
	Folhelhos	3,25
	Bauxita	11,4
	Bentonita	5,0
	Calcários	2,19
	Fosfáticas	50-300
	Evaporitos	<0,1
	Areias	3,0
	Lamas	2,3
METAMÓRFICAS	Anfibolito	3,5
	Gnaise	2,2
	Paragnaisse	4,5
	Granulito	4,9
	Ortognaisse	3,6
	Mámore	0,17
	Filito	1,9
	Xisto	2,5

Fonte: modificado em Rogers & Adam, 1969

- Background geoquímico das rochas (CPRM – aerogeofísico)

- UDC/INB – Teor de Corte 300ppm de U

- ppm de U => 24,4 Bq/Kg
1 becquerel corresponde a uma desintegração nuclear por segundo.

SÉRIE DO URÂNIO

Urânio-238

4,5 bilhões de anos

α

Tório-234

24,6 dias

β

Protactínio-234

1,4 minutos

β

Urânio-234

270.000 anos

α

Tório-230

83.000 anos

α

Rádio-226

1.600 anos

α

Radônio-222

3,8 dias

α

...

Pb-210

Polônio-210

140 dias

α

Chumbo-206

estável

SÉRIE DO ACTÍNIO

Urânio-235

713 milhões de anos

α

Tório-231

24,6 horas

β

Protactínio-231

32.000 anos

α

Actínio-227

13,5 anos

α

Frâncio-223

21 min

β

Rádio-223

11,4 dias

α

Radônio-219

3,9 segundos

α

...

Polônio-211

0,005 segundos

α

Chumbo-207

estável

SÉRIE DO TÓRIO

Tório-232

13,9 bilhões de anos

α

Rádio-228

5,7 anos

β

Actínio-228

6,13 horas

β

Tório-228

1,9 anos

α

Rádio-224

3,6 dias

α

Radônio-220

54,5 segundos

α

...

Polônio-212

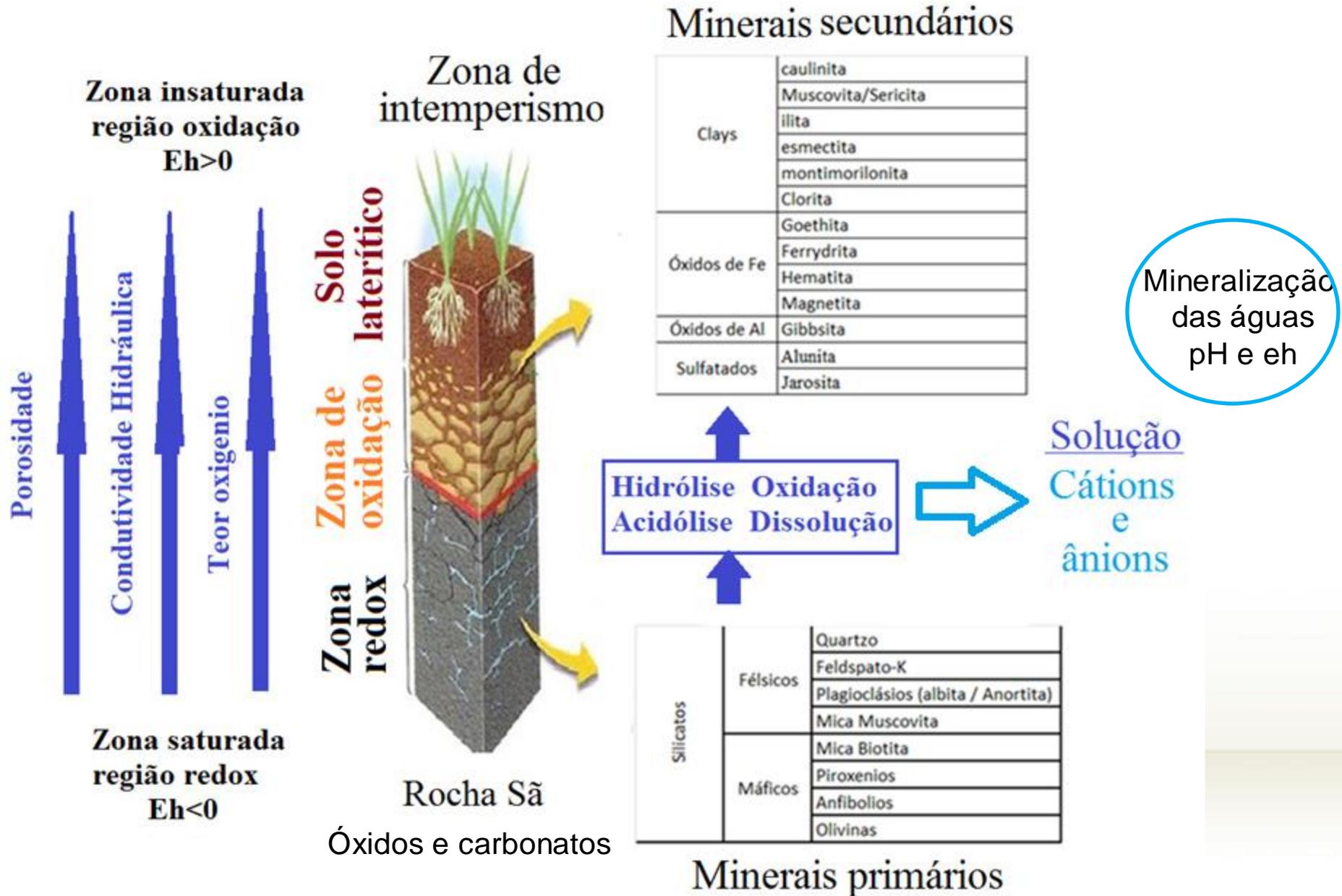
0,0000003 segundos

α

Chumbo-208

estável

Principais reações geoquímicas na superfície terrestre



Background geoquímico

SOLO	200 a 400 Bq/Kg
SEDIMENTO	300 a 500 Bq/Kg
ÁGUA (pH neutro e excetuando radônio na água subterrânea)	< 1Bq/l
Taxa de exposição externa (gama)	200nSv/h

Indústrias NORMs - SIG/LAPOC

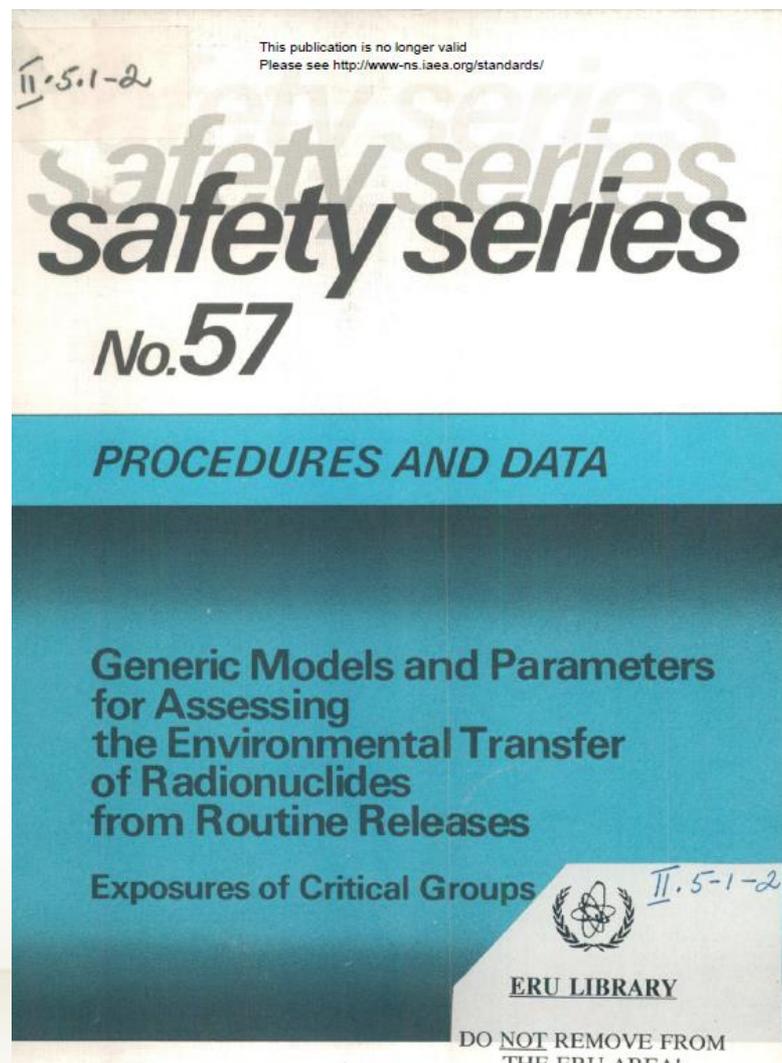
SOLO	200 a 400 Bq/Kg
SEDIMENTO	3.000 Bq/Kg
ÁGUA (pH neutro e excetuando radônio na água subterrânea)	<1Bq/L
Taxa de exposição externa (gama)	60.000nSv/h

Safety Reports Series

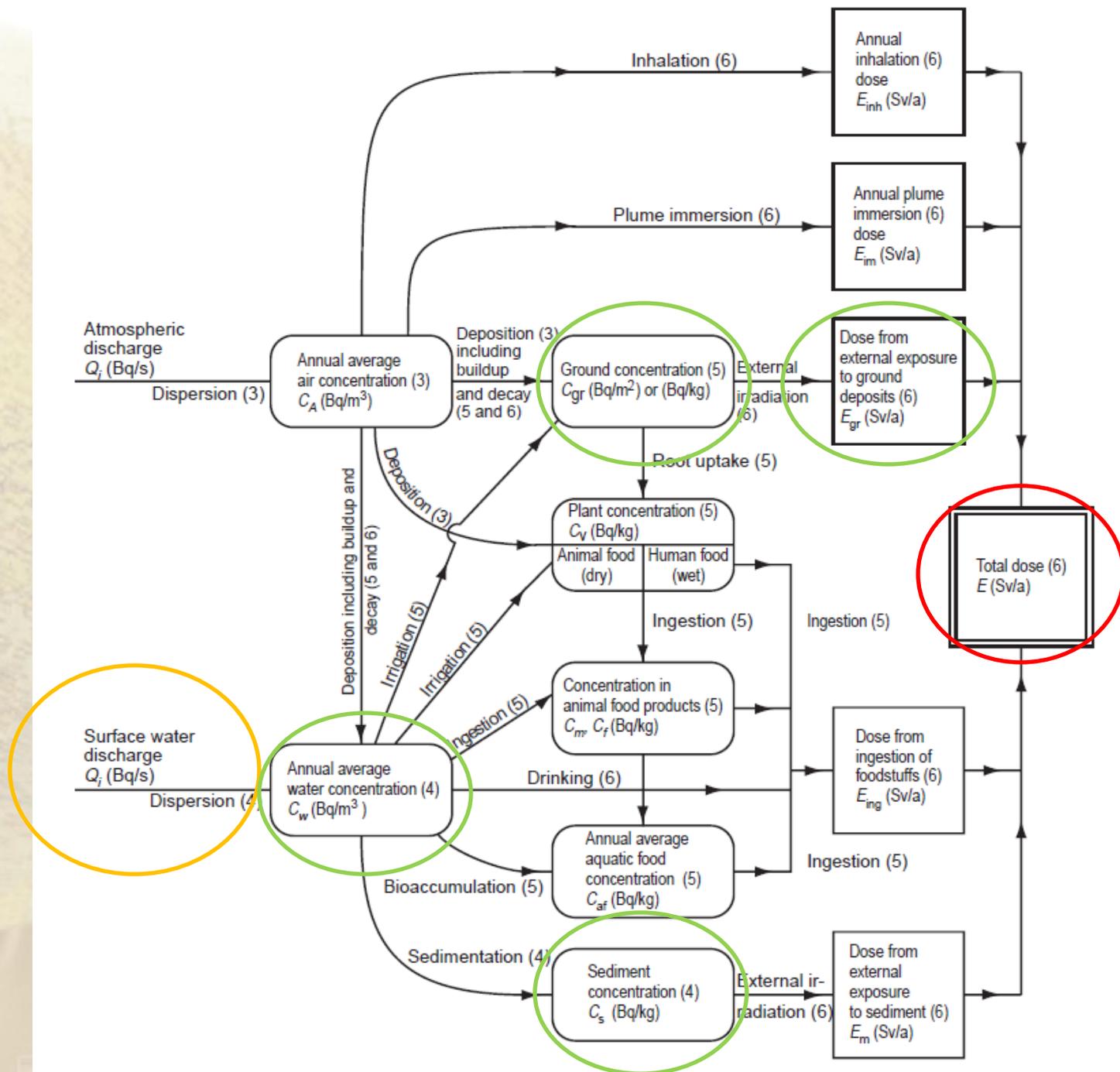
No. 19

Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment

 International Atomic Energy Agency, Vienna, 2001

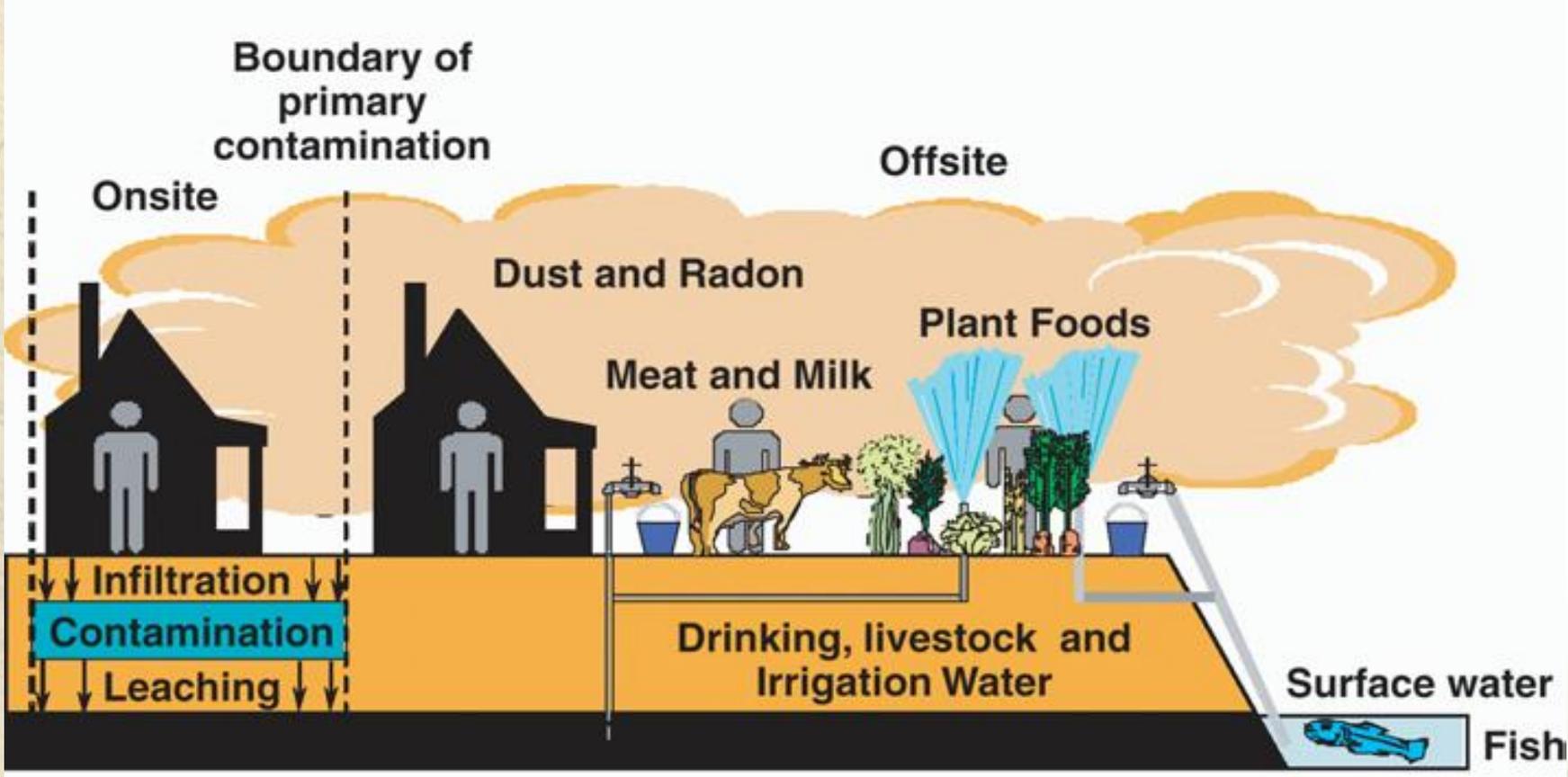


Modelos genéricos para avaliação de impacto de descargas de substâncias radioativas



Controle de dose no público (mSv/ano)

RESRAD



RESRAD ONSITE

RESRAD - ONSITE C:\Users\heber\Documents\CNEN\RESRAD\CMOC COPEBRAS LAPOC 2014.RAD (Modified)

File Pathways Site Data View Form Options Help

RESRAD-ONSITE
Version 7.2
July 20, 2016

Modify Data

- Soil Concentrations
- Calculation Times
- Contaminated Zone
- Cover/Hydrology
- Saturated Zone
- Unsaturated
- Occupancy
- Ingestion/Dietary
- Ing/Non-Dietary
- Radon
- Storage Times
- C-14

File
Change Title
Set Pathways
Modify Data
Run
View Output
Quit

Source

Radiological Units

Activity: Dose: Sv Basic Radiation Dose Limit: mSv/yr

Nuclide Concentration: Bq/g

List of ICRP38 Nuclides with half life of at least 180 days

Pb-210	1	Cd-109
Ra-226	1.9	Cd-113
Ra-228	1.7	Cd-113m
Th-228	0	Ce-144
Th-230	0	Cf-248
Th-232	1.7	Cf-249
U-234	0	Cf-250
U-238	2.2	Cf-251
		Cf-252
		Cl-36
		Cm-243

Perform Uncertainty or Probabilistic Analysis on Transfer Factor

Saturated Zone Hydrological Data

Density of saturated zone: grams/cm**3

Saturated zone total porosity:

Saturated zone effective porosity:

Saturated zone field capacity:

Saturated zone hydraulic conductivity: meters/year

Saturated zone hydraulic gradient:

Saturated zone h parameter:

Water table drop rate: meters/year

Well pump intake depth: meters below water table

Model for Water Transport Parameters: Nondispersion Mass-Balance

Well pumping rate: cubic meters/year

Cover and Contaminated Zone Hydrological Data

Cover depth: meters

Density of cover material: grams/cm**3

Cover erosion rate: meters/year

Density of contaminated zone: grams/cm**3

Contaminated zone erosion rate: meters/year

Contaminated zone total porosity:

Contaminated zone field capacity:

Contaminated zone hydraulic conductivity: meters/year

Contaminated zone h parameter:

Humidity in air: grams/m**3

Evapotranspiration coefficient:

Wind Speed: meters/s

Precipitation: meters/year

Irrigation: meters/year

Irrigation mode: Overhead Ditch

Runoff coefficient:

Watershed area for nearby stream or pond: square meters

Accuracy for water/soil computations:

Navigator

Problem Pathways/Input Results Help

Number of parameters selected for Sensitivity Analysis: 0

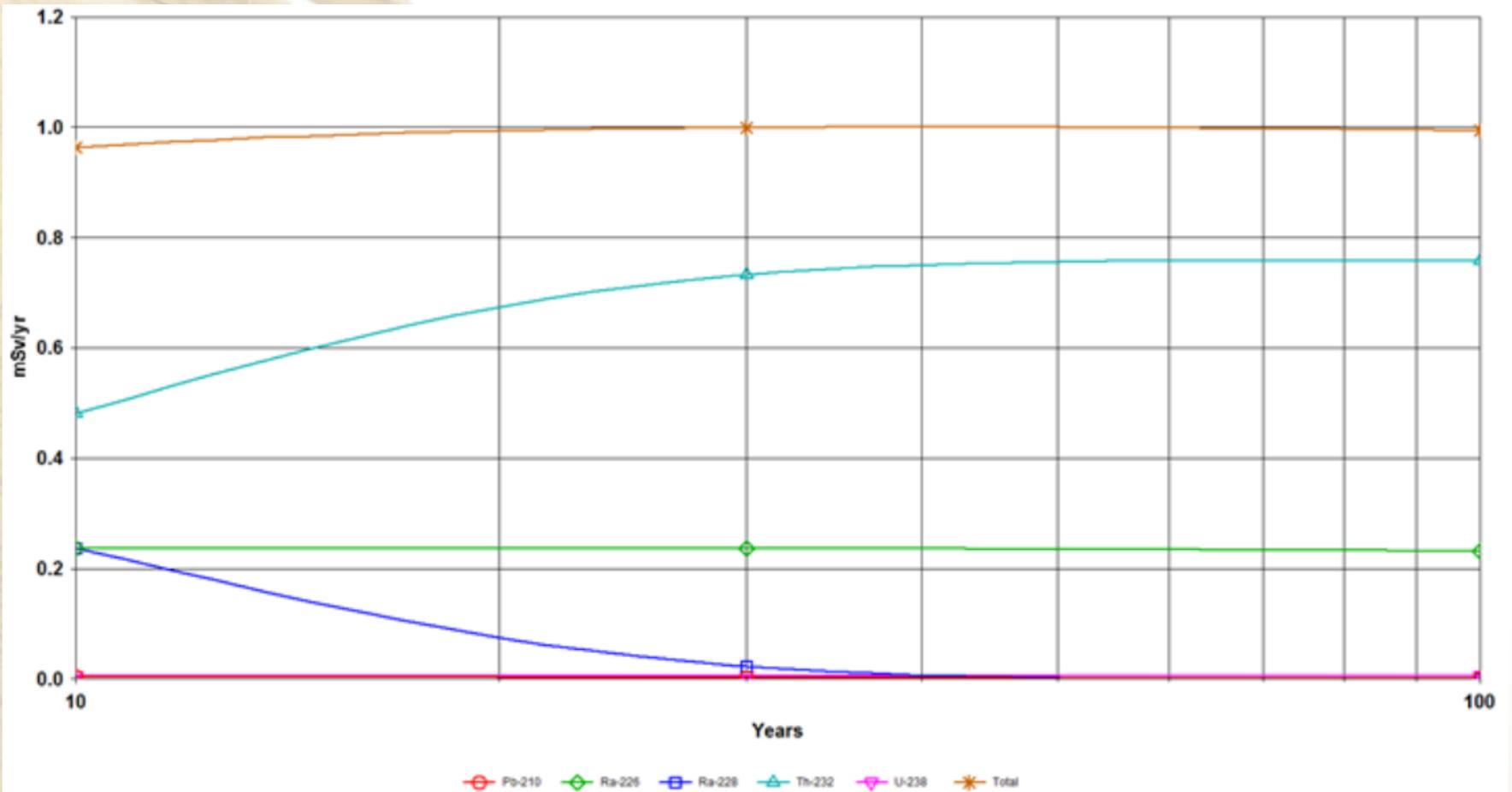


Figura 2: Principais radionuclídeos que estão contribuindo para dose (mSv/ano) ao longo de 100 anos.

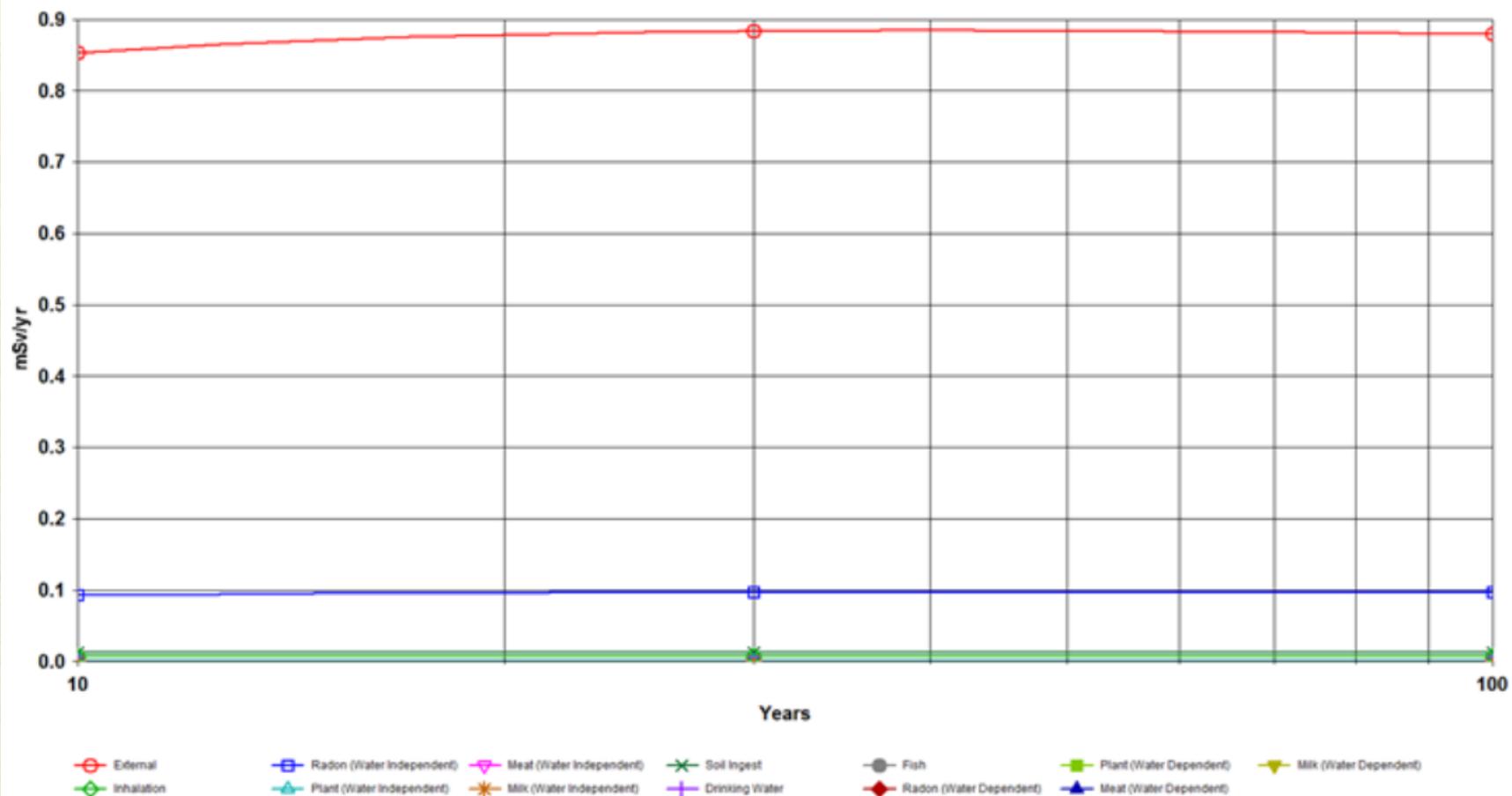
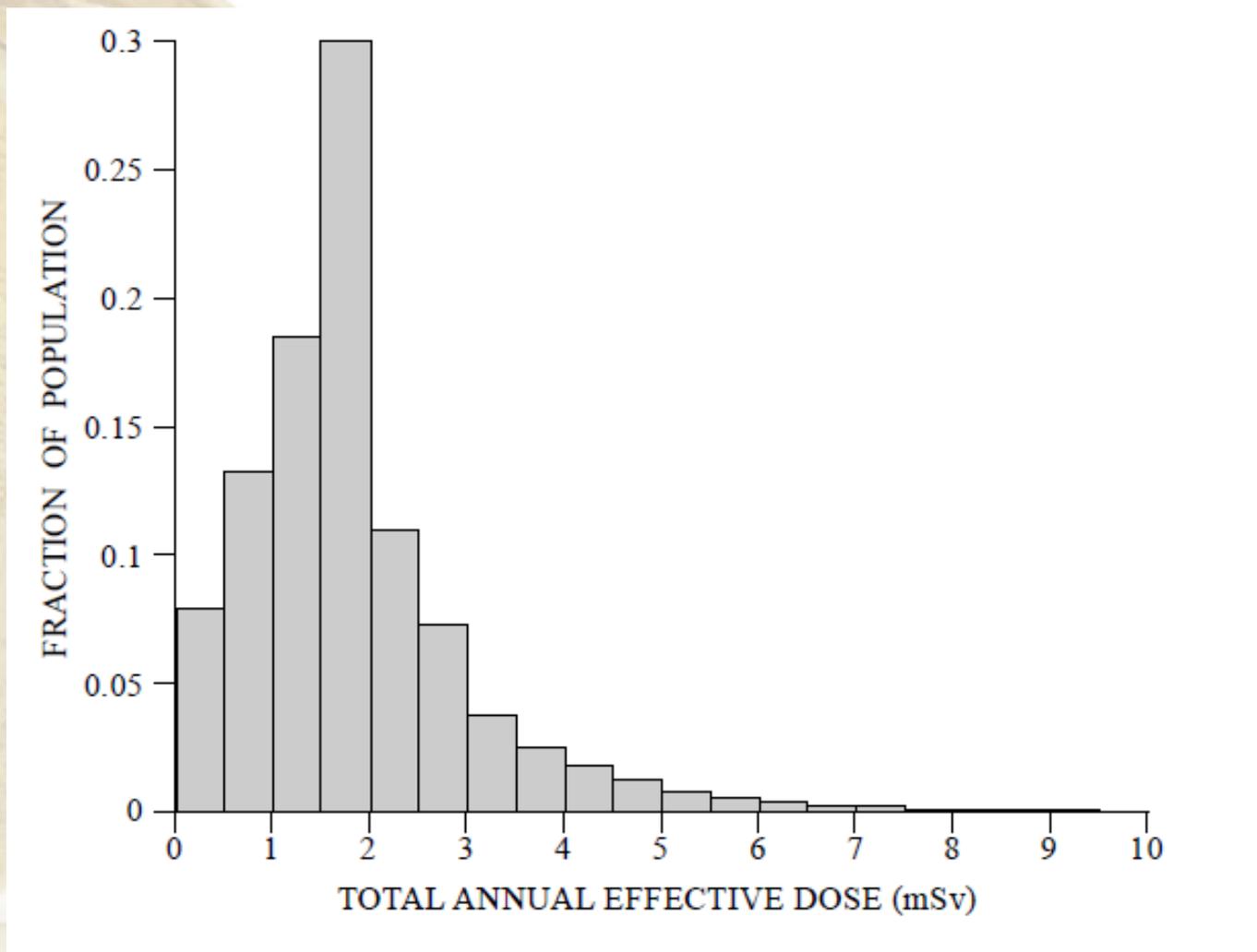


Figura 3: Principais vias de exposição que estão contribuindo para dose (mSv/ano) ao longo de 100 anos.

Componentes da dose efetiva mundial com base populacional

FONTES DE RADIAÇÃO IONIZANTE			Dose média (mSv/ano)	Variação
1. NATURAL	a) Exposição Externa	Raios CósMICOS	0,4	0,3 – 1,0
		Gama Terrestre	0,5	0,3 – 0,6
		a) Subtotal	0,9	–
	b) Exposição Interna	Inalação	1,2	0,2 – 10,0
		Ingestão	0,3	0,2 – 0,8
		b) Subtotal	1,5	–
	1 – TOTAL NATURAL (a + b)			2,4

Fonte: Adaptado de UNSCEAR, 2000



Fonte: Adaptado de UNSCEAR, 2000

NORMA CNEN NN 4.01
REQUISITOS DE SEGURANÇA E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA
PARA INSTALAÇÕES MÍNERO-INDUSTRIAIS

§2º A classificação da instalação é estabelecida pela CNEN.

Art. 7º Com vistas à classificação, pela CNEN, da instalação mineiro-industrial e consequente definição dos documentos aplicáveis, as seguintes informações preliminares devem ser encaminhadas pelo titular à CNEN:

I - origem do minério ou outra matéria-prima contendo urânio e/ou tório a ela associados;

II - plantas de detalhe, em escala compatível, mostrando:

a) localização da mina, das usinas e das bacias de resíduos e rejeitos;

b) limites da instalação;

c) localização dos depósitos de produtos, estéreis, resíduos, escórias e rejeitos;

d) rede hidrográfica local; e

e) perímetro da propriedade;

III - fluxograma simplificado do processo operacional, acompanhado do respectivo balanço de massa e da planta geral da instalação;

IV - teores medidos ou estimados de urânio natural (U-238 + U-234), tório natural (Th-232), Ra-226, Ra - 228 e Pb-210 nos minérios, concentrados, estéreis, rejeitos líquidos e sólidos, resíduos, efluentes, produtos e subprodutos, ligas e escórias;

V - capacidade nominal da instalação e estoques máximos das matérias-primas contendo urânio, tório e seus descendentes;

VI - estimativa da solubilidade dos radionuclídeos associados aos resíduos e rejeitos sólidos nos cenários de interesse;

VII - descrição das instalações de armazenamento de minérios, matérias-primas, produtos, resíduos e rejeitos contendo radionuclídeos; e

VIII - descrição preliminar do ambiente circunvizinho à instalação, com apresentação das seguintes informações:

a) descrição das liberações e dos fluxos de efluentes dos sistemas para o meio ambiente;

b) apresentação de mapas, plantas ou desenhos, em escalas adequadas, indicando a existência de corpos receptores (rios e ou lagos) e suas vazões médias anuais;

c) descrição dos tipos de lavouras desenvolvidas na área de influência da instalação com eventual uso de irrigação, criação de gado de corte ou leiteiro;

d) indicação da existência de aquíferos na área de influência da instalação; e

e) dados meteorológicos e direções preferenciais dos ventos na região.

NORMA CNEN NN 4.01

REQUISITOS DE SEGURANÇA E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA PARA INSTALAÇÕES MÍNERO-INDUSTRIAIS

CAPÍTULO IV

DO PROGRAMA PRELIMINAR DE MONITORAÇÃO RADIOLÓGICA AMBIENTAL PRÉ-OPERACIONAL (PMRA-PO)

Art. 11 Ao dar início ao processo de requerimento de Autorização para a Posse, Uso e Armazenamento de Minérios, Matérias-Primas e Demais Materiais Contendo Radionuclídeos das Séries Naturais do Urânio e/ou Tório para a instalação minero-industrial, o Titular deve apresentar à CNEN um Programa Preliminar de Monitoração Radiológica Ambiental Pré-Operacional (PMRA-PO), tomando por base a Norma CNEN NN 3.01 Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, abrangendo os seguintes aspectos:

- I - caracterização dos níveis de radioatividade existentes, abrangendo as áreas de potencial impacto e as que servirão de controle na fase operacional; e
- II - identificação das possíveis vias de exposição e estimativa de parâmetros relevantes para a avaliação da dose efetiva do indivíduo do público e do impacto ambiental.

Parágrafo único. As instalações que estejam em operação quando da publicação desta Norma estão isentas da apresentação do PMRA-PO.

Background geoquímico !!!!!

NORMA CNEN NN 4.01
REQUISITOS DE SEGURANÇA E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA
PARA INSTALAÇÕES MÍNERO-INDUSTRIAIS

CAPÍTULO VII
DAS MEDIDAS MITIGADORAS OU AÇÕES DE REMEDIAÇÃO

Art. 15 A CNEN pode determinar a implementação de medidas mitigadoras ou de ações de remediação, nos seguintes casos:

I - quando o incremento das doses para indivíduos do grupo crítico excederem $0,3 \text{ mSv}$ por ano, devido a liberação de efluentes (líquidos ou aerotransportados), a drenagens resultantes de rebaixamento de aquíferos ou a desvios de cursos d'água;

II - quando áreas externas à instalação apresentarem contaminação radioativa proveniente de resíduos ou rejeitos da instalação;

III - quando aquíferos apresentarem contaminação radioativa por emissões líquidas provenientes da instalação que impliquem em incrementos de dose para indivíduos do grupo crítico superiores a $0,3 \text{ mSv}$ por ano; ou

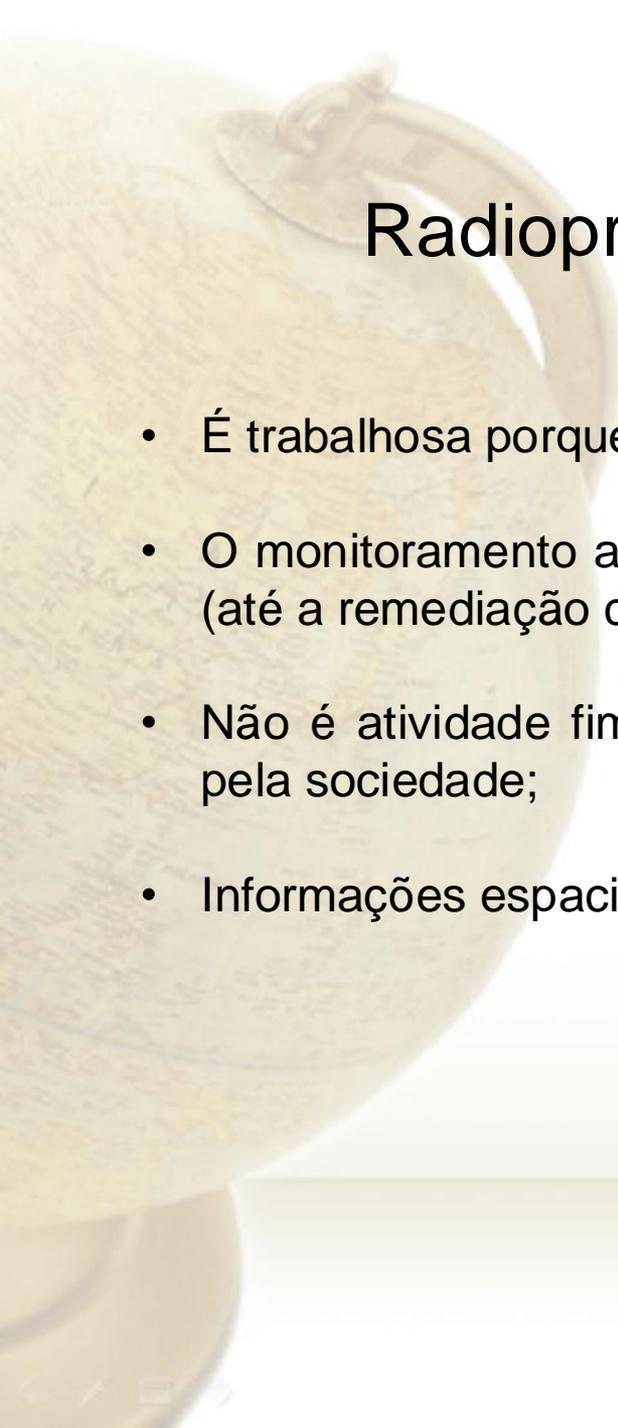
IV - quando os níveis de Rn-222 em locais de trabalho em minas subterrâneas e em galpões de armazenamento de materiais radioativos forem superiores a 1.000 Bq/m^3 , considerando um fator de equilíbrio igual a 0,4.

NORMA CNEN NN 4.01
REQUISITOS DE SEGURANÇA E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA
PARA INSTALAÇÕES MÍNERO-INDUSTRIAIS

3.8 Plano de Monitoração Ambiental e de Efluentes

- a) Definição dos compartimentos ambientais potencialmente impactados pelas operações da instalação.
- b) Identificação geográfica, em mapa, dos pontos de coleta das diferentes amostras que farão parte do programa de monitoração, bem como os pontos de descarga de efluentes.
- c) Descrição das matrizes ambientais a serem coletadas e a respectiva frequência de amostragem.
- d) Métodos a serem utilizados na amostragem, preparação e análises química e radiométrica das amostras.
- e) Informação sobre os limites de detecção para cada radionuclídeo nas diferentes amostras integrantes do programa.
- f) Manutenção de registro, atualização e controle dos dados obtidos no programa.
- g) Apresentação dos procedimentos para coleta de matrizes ambientais, preparação de amostras para análise, radionuclídeos a serem determinados e frequência de amostragem.
- h) Características radiológicas e físico-químicas estimadas dos efluentes líquidos e aerotransportados.

Utilizar os itens como capítulos do PMRA !!!!!



Radioproteção Ambiental na prática

- É trabalhosa porque exige muitos dados e recursos financeiros;
- O monitoramento ambiental é dinâmico e contínuo ao longo de décadas (até a remediação completa);
- Não é atividade fim de nenhuma indústria mas é um retorno esperado pela sociedade;
- Informações espaciais e temporais.

Cenário – modelo conceitual

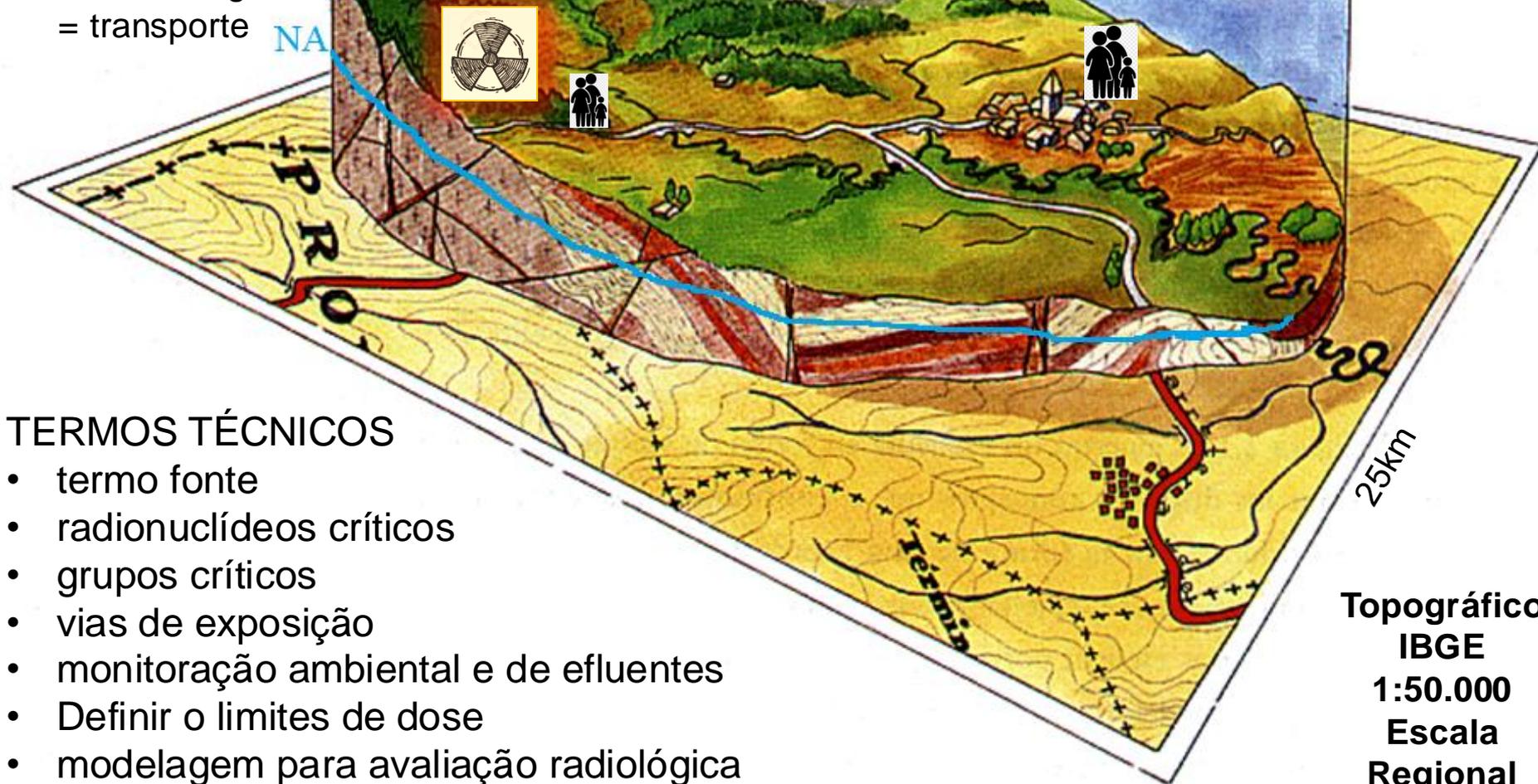
Base de dados
cartográfica
SIG

TERMO FONTE

Intemperismo
Lixiviação/erosão/
transporte/
deposição

Geoquímica
+ fluxo hidrológico
= transporte

NA



TERMOS TÉCNICOS

- termo fonte
- radionuclídeos críticos
- grupos críticos
- vias de exposição
- monitoração ambiental e de efluentes
- Definir o limites de dose
- modelagem para avaliação radiológica

Topográfico
IBGE
1:50.000
Escala
Regional

FASES / ETAPAS



Caracterização do Local +
Caracterização resíduos NORMs
e lançamentos

Monitoramento

Avaliação
Ambiental

Avaliação
Radiológica

Bq/L (Kg)

Bq/L (Kg)

mSv/ano

(Bq/s)

Liberações/descargas (Vazão)

NORM 1

Atmosférica

Ar

Homem

Solo

Água
superficial

Sedimento

Valores de
Referência

NORM 2

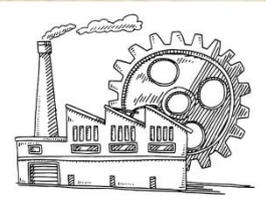
Água
Subterrânea

Água

Biota

Fauna e
flora

NORM 3



Caracterização do LOCAL (Escala > 1:50.000)

Parâmetros, topografia geotécnicos, **geoquímicos** Hidráulicos e hidrológicos, perfil do solo

↑
Kd
↓

Caracterização do termo fonte

Concentração, densidade, porosidade, **Taxa de lixiviação**

FASE 1

FASE 2

Monitoramento Ambiental

Coleta, preparo de amostras e análises químicas e radiométricas

FASE 4

Avaliação Ambiental

- Estatística básica
- Montante e jusante
- Limites Normas/legislação
- Análise de tendência
- Análise multivariada
- Geoestatística
- Avaliação geoquímica
- Avaliação Ecotoxicológica
- Matrizes de impacto ambiental

Avaliação Radiológica Ambiental

Dose no público (mSv/ano)
Dose na biota ???
Exposição existente ou planejada?

Principais dificuldades

1. Falta de especificação dos parâmetros na norma (definir escala e levantamento de dados primários); As diferenças entre as instalações dificultam um modelo adequado.
2. Falta de padronização nos relatórios enviados pelas instalações;
3. Falta de definir o modelo de dose;
4. Falta de físicos nas instalações porque eles são os culpados;
5. Envio dos dados incompletos ou pulverizados em teses e relatórios;
6. Escória é comercializada e fica em local temporários;
7. O quanto os modelos precisam ser detalhados para as diferentes classes de instalação;

Sugestões

1. Seguir os itens contidos na NORMA na elaboração dos relatórios;
2. A instalação deve criar um projeto no autocad, google Earth ou qualquer SIG; Não enviar arquivos soltos e pdf.
3. Colocar os resultados de monitoramento em planilhas com dados contínuos;
4. Elaborar banco de dados integrado com dados ambientais;
5. Elaboração de modelos de dose simplificado (modelo conceitual);
6. Definir os parâmetros, localização dos pontos, métodos e elaborar o modelo de dose em conjunto com CNEN.

Power Bi



Início



Resultados



Fluviometria



Meteorologia

Quantidade de pontos no PMA

11

Selecione um ou mais pontos de interesse

All

Quantidade de amostragens

56



Mapa de Pontos do Programa de Monitoração do LAPOC



Início

Mapa

Resultados

Fluviometria

Meteorologia 1

Meteorologia 2

Chuva x vazão

Power Bi



Início



Mapa



Fluviometria



Meteorologia

Selecione "Ponto" e "Matriz"

Ribeirão das Antas, montante (Descrição) + Sedimento (Matriz)

Período de análise

3/1/2009 8/1/2023



Limpar filtros



Selecione "Elemento"

Urânio

Quantidade de resultados

46

Referência legal para o limite

Valores geoquímicos típicos (ver relatório)

Limite, em Bq/kg [para sedimento, é o limite de alerta]

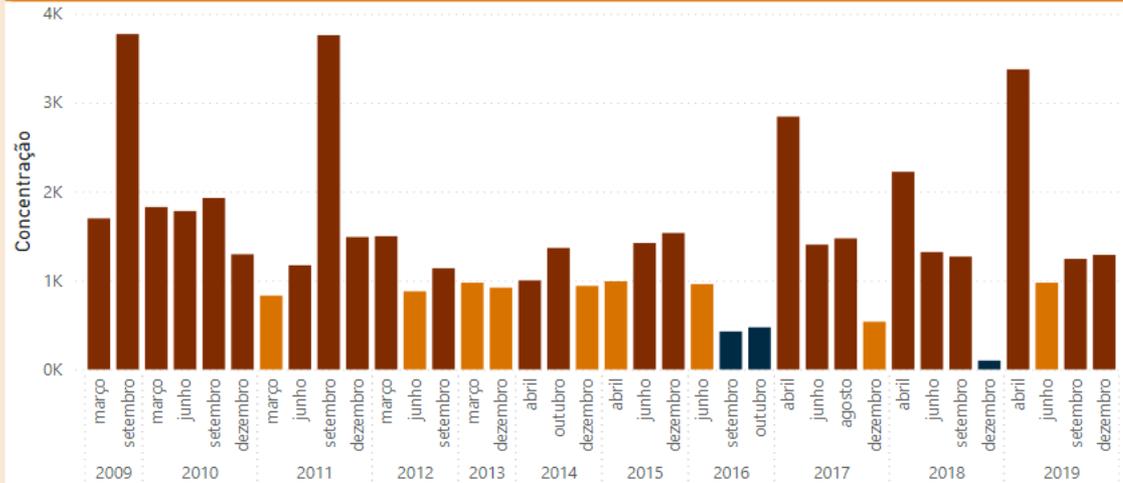
500.0000

Limite crítico para sedimento, em Bq/kg

1.0000K

Ano	Average of Resultado
2009	2,734.50
2010	1,707.25
2011	1,811.75
2012	1,171.20
2013	947.94
2014	1,102.07
2015	1,315.62
2016	619.76
2017	1,563.99
2018	1,227.71
2019	1,720.92
2020	1,091.49
2021	1,517.09
2022	1,245.50
2023	1,359.08
Total	1,416.35

Urânio, em Bq/kg



Início

Mapa

Resultados

Fluviometria

Meteorologia 1

Meteorologia 2

Chuva x vazão



Instalação

- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]
- T. [Redacted]

Qtd pontos obtidos

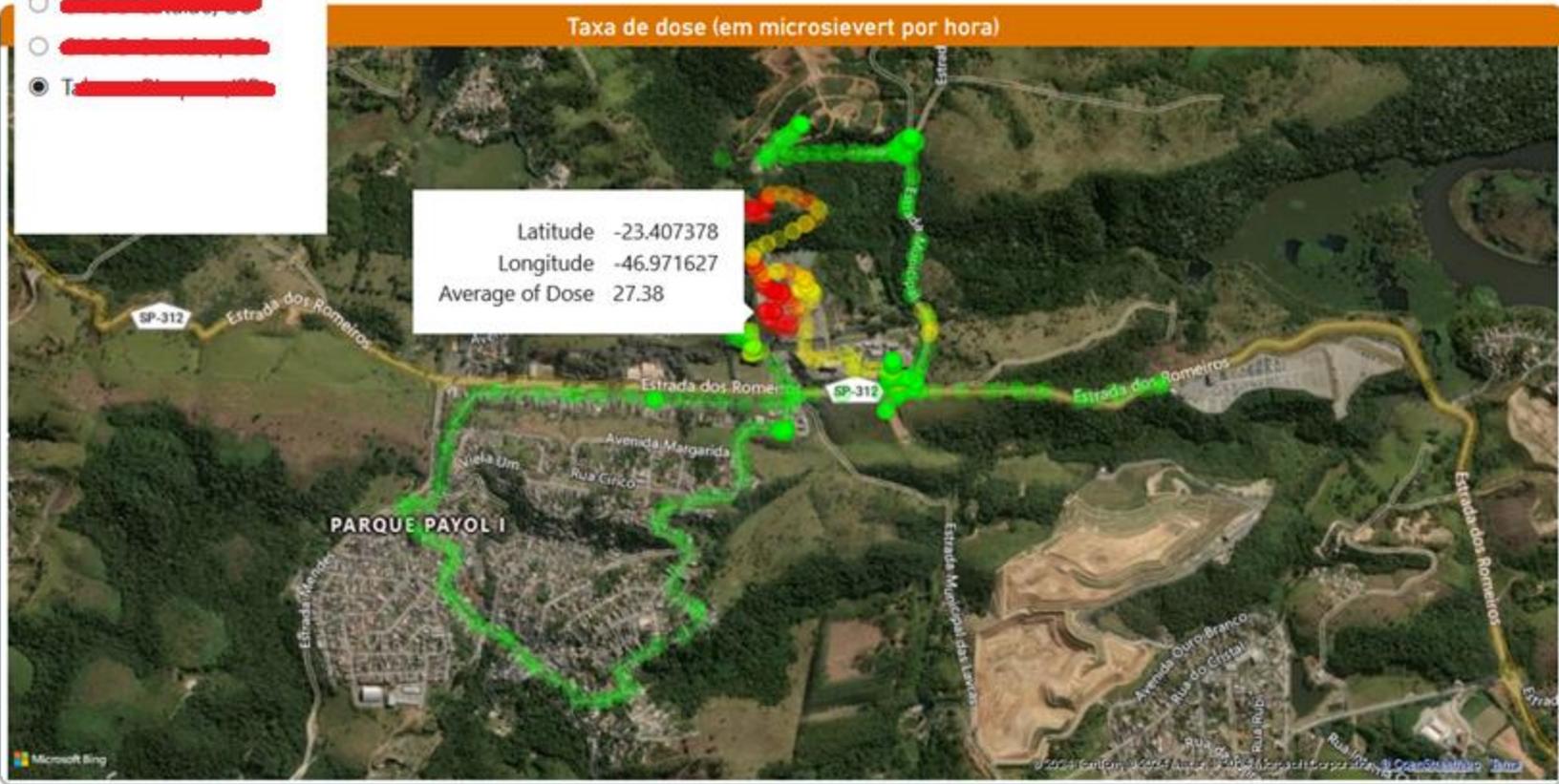
1

Período da monitoração

Monitoração realizada entre 26 e 28 de outubro de 2021

Taxa de dose (em microsievert por hora)

Latitude -23.407378
Longitude -46.971627
Average of Dose 27.38





Obrigado pela atenção!
Heber.alberti@cnen.gov.br