



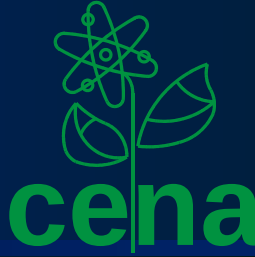
USO DA ENERGIA NUCLEAR NA PRESERVAÇÃO DE ALIMENTOS

IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS



Profa. Dra. MARTA H. F. SPOTO
ESALQ/USP

1. Histórico



1895 - Roentgen anunciou sua descoberta dos raios X.

1896 - Bequerel descobre a radioatividade.

1921 - Schwartz - patente americana para raios X para matar *Trichinella* em carne.

1943 - Proctor realizou o primeiro trabalho com esterilização de hambúrguer com radiação ionizante.

1950-1960 - Primeiros trabalhos para as forças armadas americanas

1966-1968 - Início da Irradiação de Alimentos no Brasil

1980 - Organização Mundial da Saúde - Liberação incondicional até 10 kGy

CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura

IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e
Nucleares

CDTN – Centro de Desenvolvimento de Tecnologia
Nuclear

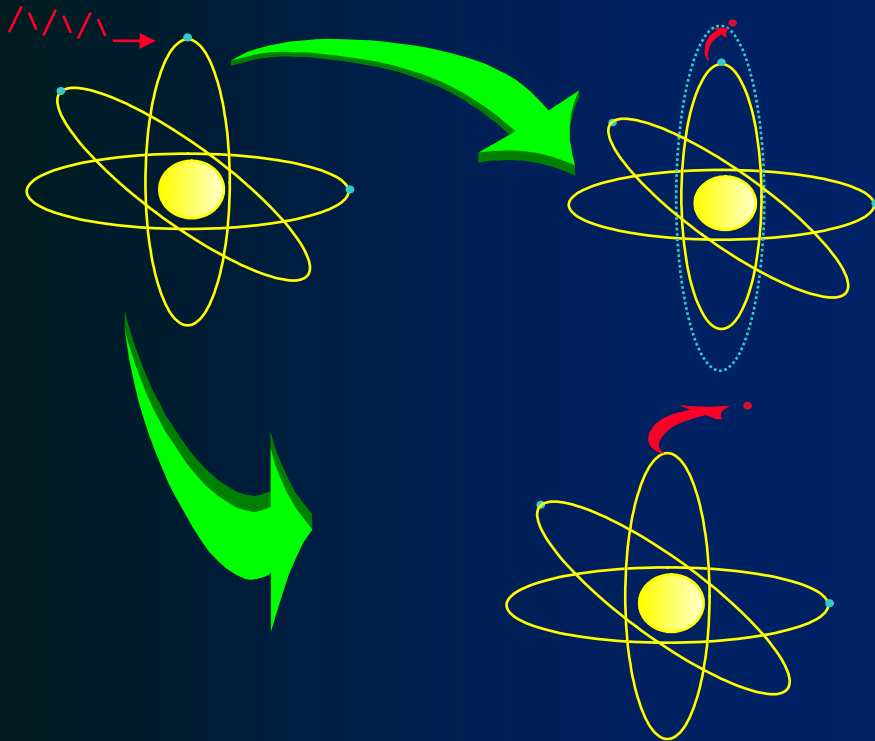
UFRJ – Unidade Federal do Rio de Janeiro

O QUE É IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS ?

É a exposição de alimentos a radiações ionizantes

RADIAÇÕES IONIZANTES

São radiações de alta energia que deslocam os elétrons dos átomos e moléculas, convertendo-os em partículas eletricamente carregadas, chamadas íons.



Radiação ionizante: radiação cuja energia é superior a energia de ligação dos elétrons de um átomo (energia é suficiente para arrancar elétrons de seus orbitais).

Íons: átomo ou molécula que se torna eletricamente carregado pelo ganho ou perda de elétrons.

RADIAÇÕES UTILIZADAS

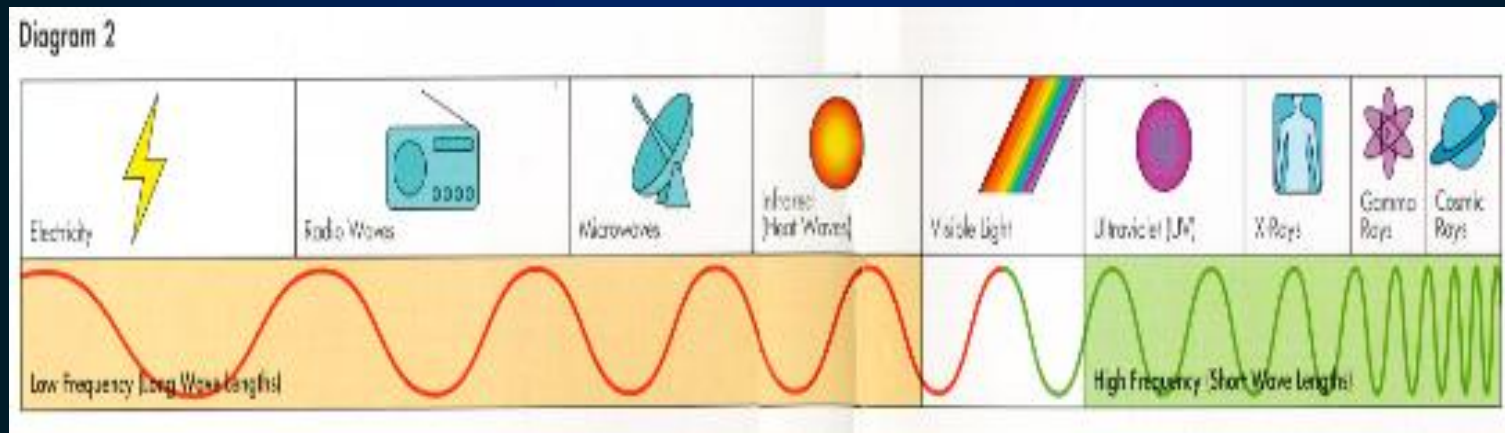
Radiação Gama

Raios – X

Elétrons Acelerados

- Radiações eletromagnéticas

Caracterizadas por frequência e comprimento de onda



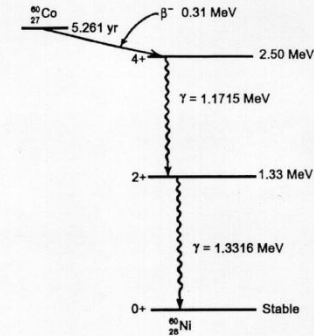
Fontes radioativas

- Césio 137
 - Reprocessamento de lixo nuclear
 - Emite um raio gama 0,662 MeV
 - Meia vida 30 anos
 - Transforma-se em Berilo
- Cobalto 60
 - Produzido em reator
 - Emite 2 raios gama 1,173 MeV e 1,332 MeV
 - Meia vida 5,3 anos
 - Transforma-se em Níquel

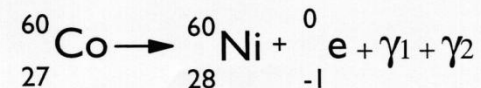
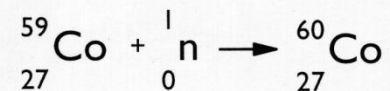
- Esquema de Decaimento do Co_{60}

Cobalt decay scheme

- Cobalt ejects a β^-
- Recoil nucleus still has surplus energy
- Emits γ_1 (1.17 MeV)
- Emits γ_2 (1.33 MeV)
- Decay product Nickel



^{60}Co Production and Decay



$$\gamma_1 = (1.17 \text{ MeV}), \gamma_2 = (1.33 \text{ MeV})$$

Outros meios de se irradiar

- Elétrons acelerados
 - Aceleradores de partícula
 - Menos penetrante
- Raios X
 - Freamento de elétrons acelerados
- Ultra Violeta C

- Esquema de Produção de Raios X

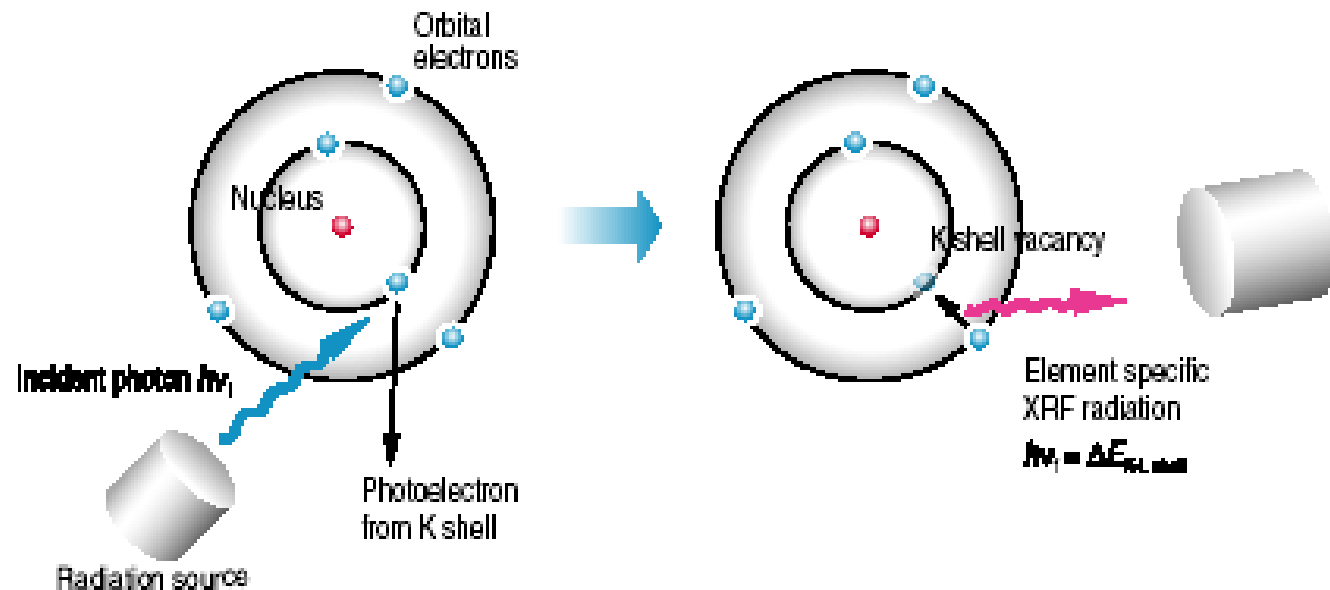
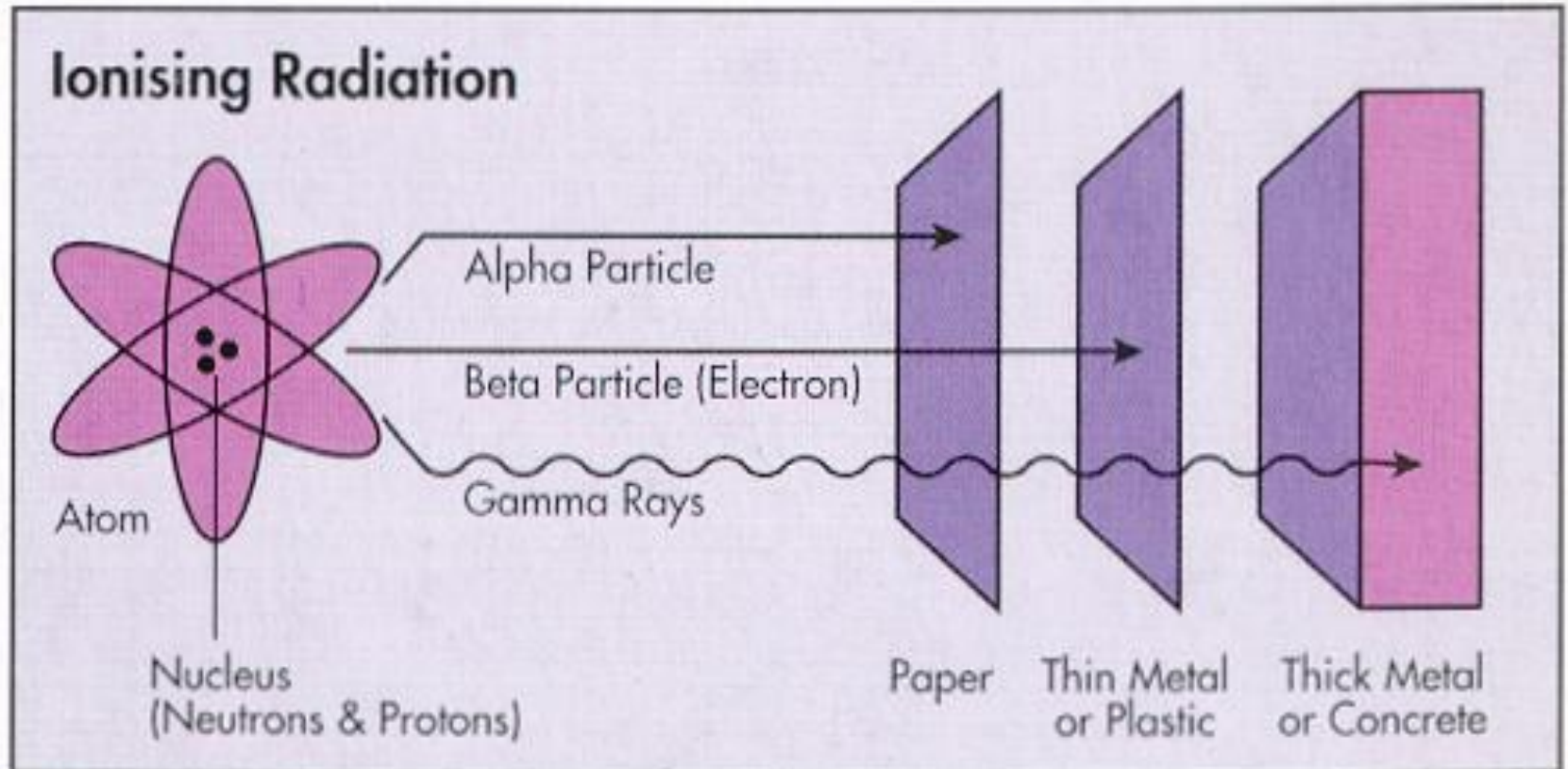


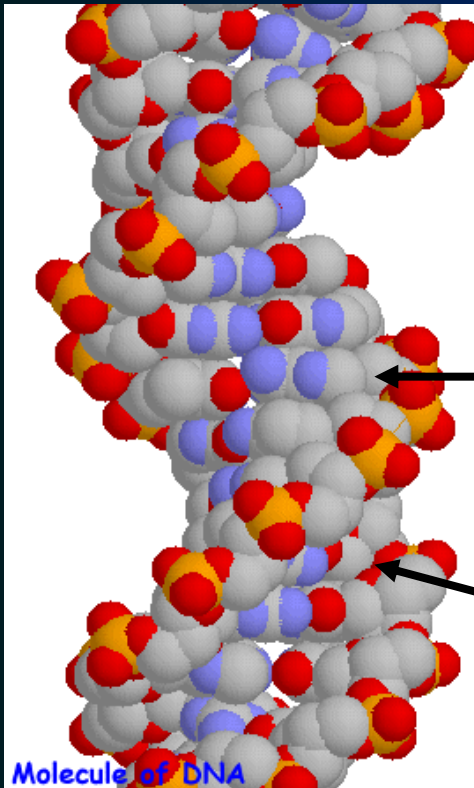
FIG. 2. XRF spectrometer.

Penetrabilidade da radiação gama



Efeitos da radiação

Efeitos diretos e indiretos das radiações



E Interação com
moléculas vizinhas

E Interação diretamente no DNA

Água

Ácidos nucleicos

Proteínas

Lipídeos

Carboidratos

Mecanismo Indireto

Radiólise da água (Radicais livres):

Excitação = H_2O^*

Ionização = $\text{H}_2\text{O}^{+} + e^-$

Produtos radiolíticos:

Dissociação: $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$

$\text{H} \cdot$ - átomo de Hidrogênio

H_2 - Hidrogênio

H_3O^+ - próton hidratado

$\text{OH} \cdot$ - radical hidroxila

e^- - aquoso

H_2O_2 - Peróxido de Hidrogênio

Organismo

Mecanismo Direto

DNA

alvo 10^5 genes

DNA lesado

Reparo correto

Reparo errôneo

Não reparo

DNA restaurado

célula normal

DNA mutado

morte celular (necrose)

célula mutada viável

Célula somática

Célula germinativa

Diminuição da longevidade - Má formações - indução do câncer - Síndromes da radiação.

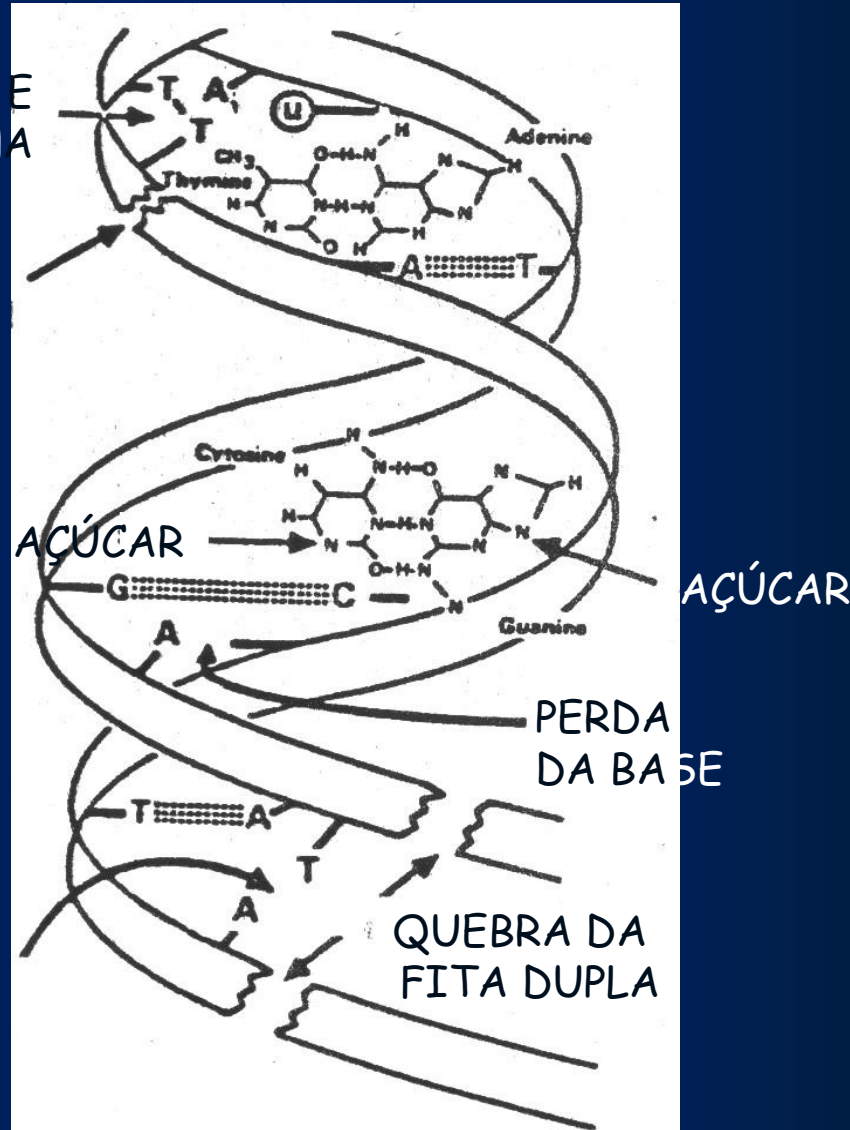
Doenças hereditárias
Esterilidade herdada

Vários tipos de lesões induzidas no DNA por radiação ionizante

DÍMERO DE
PIRIMIDINA

QUEBRA DA
FITA SIMPLES

QUEBRA DE
PONTES DE
HIDROGÊNIO



Atuação na célula

- Inibindo a divisão das células pela alteração de suas estruturas moleculares.
- Causando reações bioquímicas nos processos fisiológicos dos tecidos vegetais.
- Alterando ou quebrando as paredes celulares.

Tempo de Atuação do Processo de Irradiação

- Estágio físico: 0 a 10^{-14} segundos
- Estágio físico-químico: 10^{-14} a 10^{-10} segundos
- Estágio químico: 10^{-10} a 10^{-3} segundos

Metodologia utilizada

CENA - Universidade de São Paulo -
Piracicaba - SP.

Fonte de radiação gama:

- Irradiador marca Gammabeam-650,
- 36 cápsulas de Cobalto-60
- Distribuídas em 12 tubos metálicos até o centro de uma blindagem cilíndrica de chumbo.
- Os conjuntos de três cápsulas de ^{60}Co , são movidos internamente nos tubos através de ar comprimido e separados por molas.



Modelo: Gammabeam 650

Fonte de radiação gama

Gammacell-220, cuja fonte é o **Cobalto-60**:

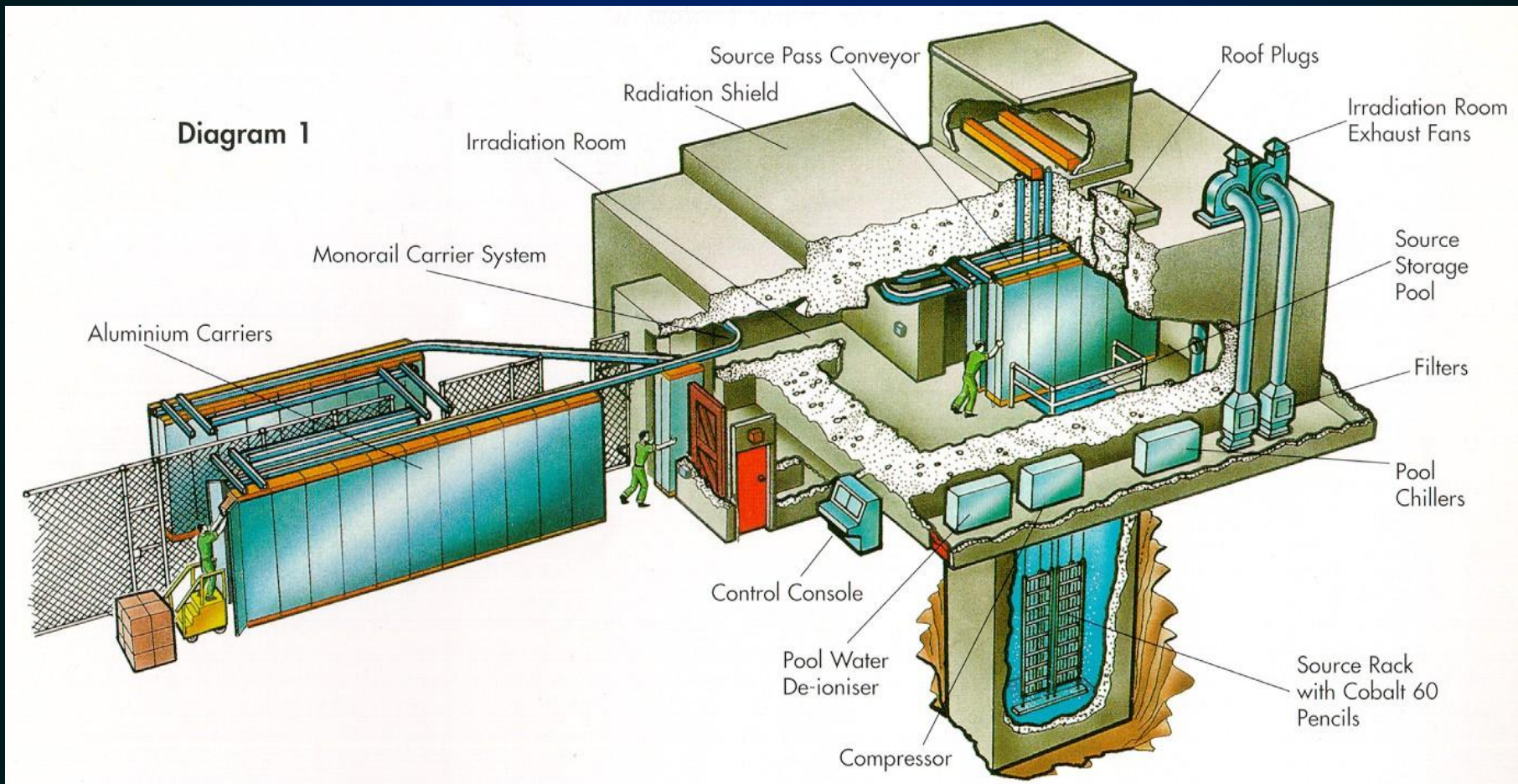
- 48 lápis de Cobalto-60 fica incluso dentro de uma blindagem de chumbo (MDS Nordion, 2001).
- Gaiola cilíndrica com mecanismo móvel para cima e para baixo ao longo da linha central da fonte, conduz o material até a fonte.
- A gaiola interna é de aço inoxidável, contendo os 48 lápis de Cobalto-60, preso ao seu redor e abaixo.

Fonte de radiação gama, Modelo
Gammacell 220.



IRRADIADOR DE GRANDE PORTE

Estrutura do Irradiador



Vantagens da irradiação

- Processo rápido
- Eficaz
- Não esquentar o produto
- Irradia-se já embalado
- Retenção das características do produto
- Não deixa resíduo

DOSES DE RADIAÇÃO E OS EFEITOS NOS ALIMENTOS

DOSE DE RADIAÇÃO

É a quantidade de energia da radiação absorvida pelo alimento, quando esse passa pelo campo de radiação

As doses são expressas em Gray

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule} / \text{kg}$$

Doses Letais

• Mamíferos	5 a 10 Gy
• Insetos	10 a 1000 Gy
• Bactérias vegetativas	500 a 1000 Gy
• Bactérias esporuladas	10000 a 50000 Gy
• Vírus	50000 a 200000 Gy

1. INIBIÇÃO DE BROTAMENTOS



ALIMENTO	DOSE DE RADIAÇÃO	OBJETIVO
BATATA, CEBOLA, ALHO, INHAME, GENGIBRE, E OUTROS	0,05 - 0,2 kGy	Prolonga a vida útil dos alimentos pela inibição dos brotamentos. Morte das células germinativas

2. DESINFESTAÇÃO DE INSETOS



ALIMENTO	DOSE DE RADIAÇÃO	OBJETIVO
GRÃOS, FRUTAS, LEGUMES E OUTROS ALIMENTOS SUJEITOS A O ATAQUE DE INSETOS -	0,1 a 1kGy	Desinfestação Mata os insetos ou impede sua reprodução através da esterilização. Pode substituir os tratamentos feitos com produtos químicos fumigantes QUARENTENA

3. *RETARDO DA MATURAÇÃO E SENESCÊNCIA*



ALIMENTO	DOSE DE RADIAÇÃO	OBJETIVO
BANANA, MAMÃO, MANGA, GOIABA, ABACATE, TOMATE, CITRUS, ABACAXI, MAÇÃ, PÊSSEGO, FIGO, UVA E OUTROS	ATÉ 1,0 kGy	Aumento na vida útil

4. PASTEURIZAÇÃO A FRIO

ALIMENTO	DOSE DE RADIAÇÃO	OBJETIVO
PRODUTOS LÁCTEOS, SUCOS DE FRUTAS, MASSAS FRESCAS, FRUTAS E LEGUMES MINIMAMENTE PROCESSADOS, CARNES, PESCADOS	0,1 a 10 kGy Tratam. combinados: Armazen. (0° a 3°C) Desidratação Baixa atividade de água	Retardar a decomposição por microrganismos Elimina e /ou reduz o número de microrganismos patogênicos ou putrefativos e parasitas (cisticercose)

PASTEURIZAÇÃO

OUTROS PRODUTOS:

Pão de forma

Queijo Frescal e Prato

Mandioca

Mandioquinha (batata baroa)

Suco de laranja

Morango

Cogumelo

Cerveja clara (chopp)

Polpa de fruta

Mosto de cana

Garapa

Frutas exóticas - Amazônia

Ovo em pó

Albumina

Películas comestíveis

5. ESTERILIZAÇÃO

ALIMENTO	DOSE DE RADIAÇÃO	OBJETIVO
ALIMENTOS PRONTOS PARA CONSUMO COMO: CONSERVAS DE HORTALIÇAS, CARNES, AVES, PROCESSADOS.	20 – 70 kGy	Esterilização. O produto após tratamento pode ser armazenado à temperatura ambiente

Fatores que afetam a qualidade do produto irradiado

- Tratamentos pós-colheita conservam mas não melhoram a qualidade inicial do produto
- Importante garantir produto de qualidade para irradiação
- Contaminação inicial de microrganismos baixa
- Estado fisiológico antes da irradiação
 - danos mecânicos, perda de umidade, temperatura de armazenamento
 - Época, horário e local da colheita
- Armazenamento e transporte após irradiação

Limitações de ordem prática

- Logística – deve-se levar o produto até o irradiador
- Variação de dose
 - Sempre haverá variação da dose num determinado volume de aplicação.
 - Quanto maior o volume de aplicação, maior a variação de dose
 - Num pallet irradiado podemos ter de 2 a 3 vezes a variação de dose
- Alto custo inicial, na implantação.

CUSTOS

A) VARIÁVEIS:

- Cobalto 60 = 70-80 mil Curries
- Horas de funcionamento = 8.000 h
- Processamento / ano = 60.000 ton.
- Doses baixas (5 a 150 Gy)

B) CAPITAL:

• Irradiador	= US\$ 800,000
• Cobalto	= US\$ 120,000
• Acessórios	= US\$ 480,000
• Alvenaria / Concreto	= US\$ 600,000
TOTAL	= US\$ 2,000,000

CUSTOS

C) OPERACIONAIS:

- Salários (1 gerente, 1 técnico, 4 operadores, 6 braços) US\$ 325,000
- Taxas, seguros, manutenção, administração, etc. US\$ 240,000
- TOTAL** US\$ 565,000

D) DO PROCESSO

- Depreciação do capital US\$ 160,000
- Custos operacionais US\$ 565,000
- TOTAL** US\$ 725,000

E) CUSTO / TONELADA US\$ 12,08 OU US\$ 0,012 / kg

CUSTOS

- GENERALIZANDO
- DOSES BAIXAS (<1 kGy)
Custo = US\$ 10 a 15 por tonelada
- DOSES ALTAS (>10 kGy)
- Custo = US\$ 100 a 250 por tonelada

PESQUISAS EM ANDAMENTO

PRODUTOS MINIMAMENTE PROCESSADOS : FRUTAS E HORTALIÇAS

QUARENTENA PARA MOSCA-DO-FIGO

RAÍZES PARA EXPORTAÇÃO

DOSES CRÍTICAS PARA FRUTAS E OLERÍCOLAS

ENVELHECIMENTO DE AGUARDENTE

MADEIRAS PARA AGUARDENTE

COMPONENTES E RAÇÕES ANIMAIS

FARINHA DE SOJA - ISOFLAVONA

PESQUISAS FUTURAS

PROPOSTAS

**EM FUNÇÃO DA NOVA LEGISLAÇÃO
RDC Nº 21, DE 26 DE JANEIRO DE 2001 -
QUE NÃO ESTABELECE VALORES DE DOSES PARA
OS ALIMENTOS
HÁ NECESSIDADE DE DEFINI-LOS
PARA O
CONTROLE DOS ALIMENTOS IRRADIADOS**

O QUE FAZER ?

**EFETUAR ESTUDOS PARA SE
ESTABELEECER AS DOSES, MÁXIMA
E MÍNIMA, A FIM DE ASSEGURAR A
EFETIVIDADE DA IRRADIAÇÃO
GARANTINDO A QUALIDADE DO
PRODUTO IRRADIADO**