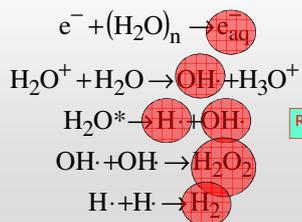
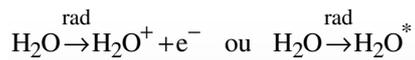


Radiólise da água



Radicais Livres

EMY – Semana de Física Biológica IBILCE/UNESP - 2009

EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE

DNA é o principal alvo na célula irradiada

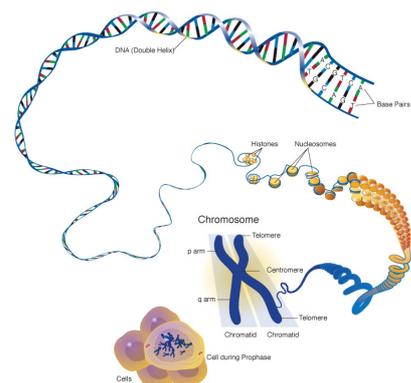
- ❖ Quebra simples da fita
- ❖ Quebra dupla da fita
- ❖ Cross-links
- ❖ Danos nas bases
- ❖ Agrupamento de lesões

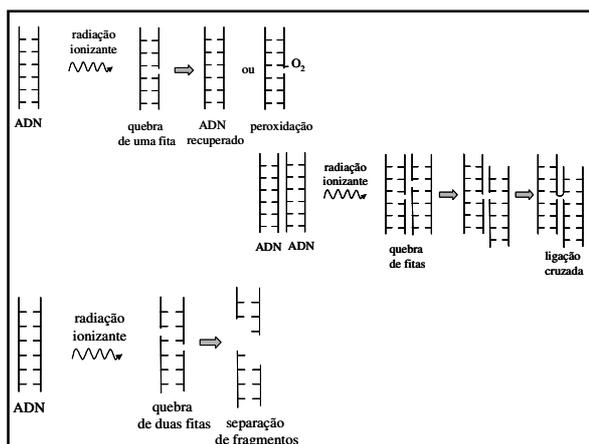
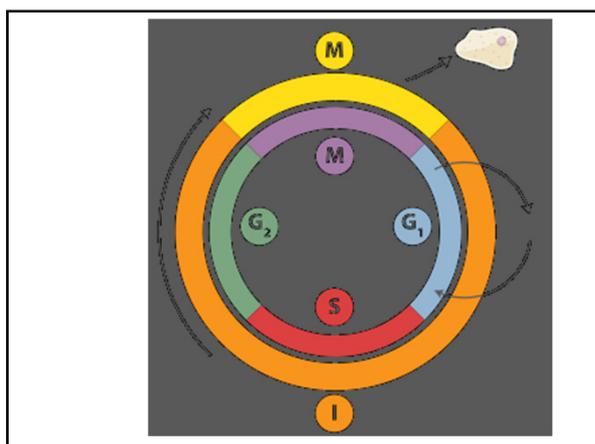
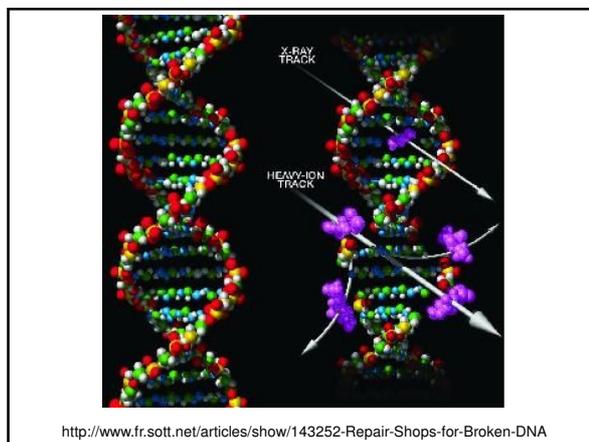
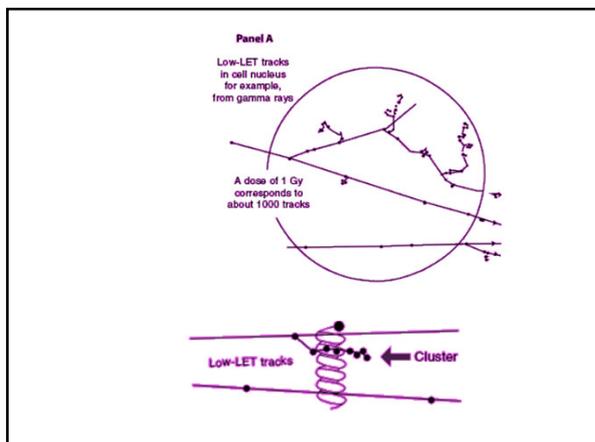
Mecanismos de reparo são acionados.

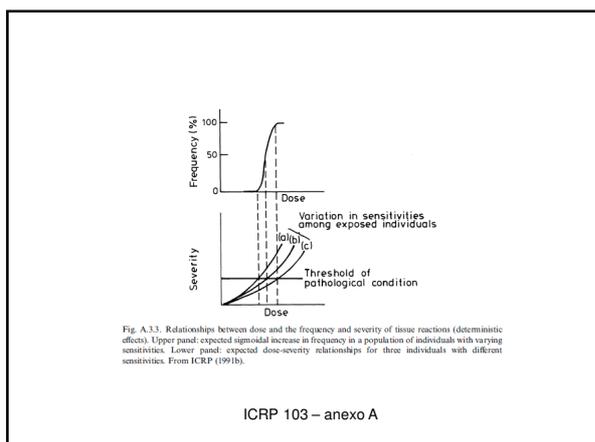
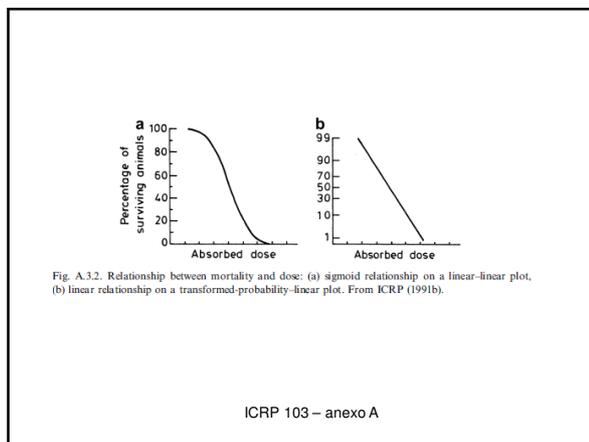
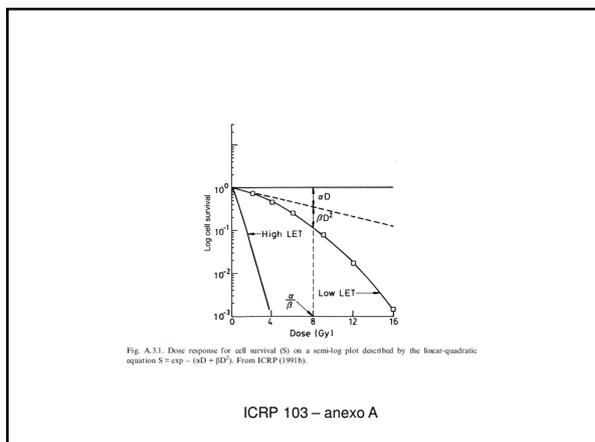
DANO AO DNA CELULAR

Conseqüências do dano não reparado ou mal-reparado:

- Morte ou inativação celular:
 - clonogênica
 - apoptótica
 - pausa no ciclo
- Modificação celular:
 - Aberrações cromossômicas
 - Neoplasia
 - Desordens hereditárias

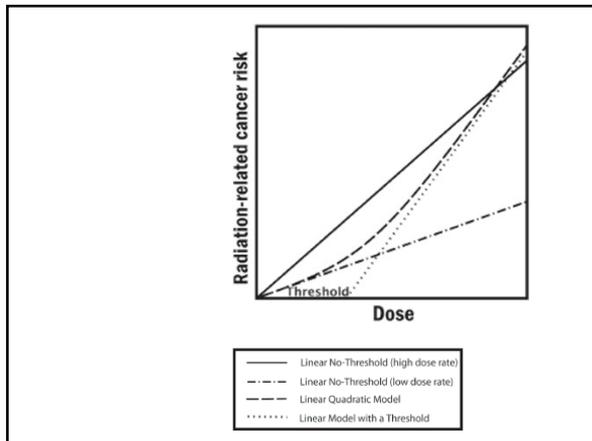






transferência linear de energia (L ou LET) quantidade média de energia recebida pelo meio por unidade de caminho da partícula carregada no meio. **densidade de ionizações**, definida mesmo para **radiação indiretamente ionizante**

Partícula	Energia (MeV)	L_w (keV· μm^{-1}) em água
raios gama do Co-60	1,25	0,2
raios X produzidos com 250 kV	até 250 keV	2,0
prótons	10	4,7
prótons	150	0,5
alfa	2,5	166
íons de Fe	2000	1000



TUMOROGÊNESE POR RADIAÇÃO

Sabe-se pouco ainda

- Instabilidade genômica tem papel importante.
- Mutação ou rearranjo genético (pró-oncogênese)
- O dano mais frequente é uma deleção
- São afetados os genes supressores de tumores

Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante: Por Que É Difícil Avaliar O Dano (Risco)?

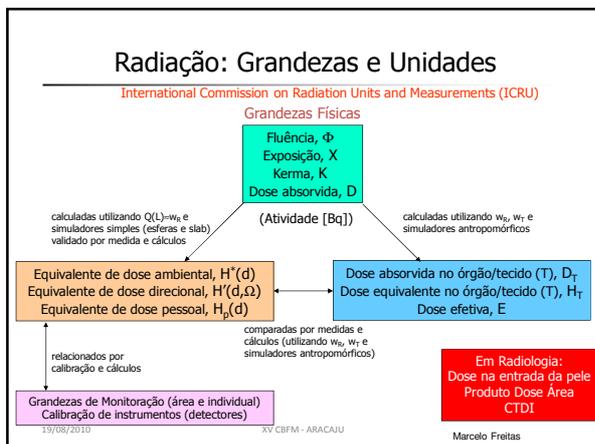
Dano biológico depende de vários fatores

- Dose absorvida (energia depositada pela radiação ionizante)
- Tipo de radiação e taxa de dose
- Parte do corpo irradiada (tipo de célula, tipo de órgão, taxa de renovação celular)
- Fatores individuais: predisposição genética, idade, metabolismo, estado do sistema imunológico
- São necessárias grandezas além das grandezas físicas para avaliar dano

Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante: Por Que É Difícil Avaliar O Dano (Risco)?

Indução de câncer – efeito estocástico

- Outros fatores influem na manifestação
- Tempo de latência
- Não há distinção em relação a cânceres induzidos por outros fatores
- Relação direta causa/efeito – poucas vezes é conseguida
- Efeito x dose: linear? Há ou não limiar? Hormesis? Bystander effect? Instabilidade genômica?
- Epidemiologia somente não responde



Radiação: Grandezas de Proteção Radiológica

Dose Equivalente (H)

Dose absorvida média ($D_{T,R}$) em um tecido ou órgão (T), ponderada pelos tipos de radiação (R) que irradiaram esse tecido ou órgão:

$$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$$

W_R → fator de ponderação da radiação (tipo e energia) relativo a fótons

Tipo de Radiação	W_R
fótons (raios X e gama - γ)	1
elétrons	1
prótons	5
partículas α , fragmentos de fissão, íons pesados (núcleos)	20
nêutrons	20 (máximo p/ E = 1MeV) varia com a energia do fóton

- W_R tabelados a partir da RBE (eficácia ou efetividade biológica relativa) para **efeitos estocásticos**
- soma sobre todas as radiações envolvidas

Unidade (SI): sievert (Sv) → 1 Sv = 1 J/kg (energia/massa)

- Unidade antiga (não SI): roentgen equivalent man (rem) → 100 rem = 1 Sv = 1 J/kg

Radiação: Grandezas de Proteção Radiológica

TABELA 2: Fatores de Peso da Radiação⁽¹⁾, w_R

Tipo e faixa de energia ⁽²⁾	Fator de peso da radiação, w_R
Fótons, todas as energias	1
Elétrons e múons, todas as energias ⁽³⁾	1
Nêutrons ⁽⁴⁾ , energia: < 10 keV	5
10 keV a 100 keV	10
>100 keV a 2 MeV	20
> 2 MeV a 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Prótons, exceto os de recuo, energia > 2 MeV	5
Partículas α , fragmentos de fissão, núcleos pesados	20

Fig. 1. Radiation weighting factor, w_R , for neutrons versus neutron energy.

Table 2. Recommended radiation weighting factors.

Radiation type	Radiation weighting factor, w_R
Photons	1
Electrons ^a and muons	1
Protons and charged pions	2
Alpha particles, fission fragments, heavy ions	20
Neutrons	A continuous function of neutron energy (see Fig. 1 and Eq. 4.3)

Radiação: Grandezas de Proteção Radiológica

Dose Efetiva (E)

Soma ponderada das doses equivalentes (H_T) nos diversos tecidos ou órgãos (T):

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

w_T → fator de ponderação que caracteriza a sensibilidade relativa dos vários tecidos/órgãos com respeito a indução de câncer e mortalidade

Tecido ou Órgão	w_T
gônadas	0,20
medula óssea vermelha, colón, pulmão, estômago	0,12 (cada)
bexiga, esôfago, fígado, mama, tireóide	0,05 (cada)
superfície dos ossos, pele	0,01 (cada)
resíduo dos órgãos/tecidos	0,05 (todos)

- ponderação sobre os órgãos: dose efetiva correspondente a uma dose equivalente uniforme sobre todo o corpo
- $\sum w_T = 1$

Unidade (SI): sievert (Sv) → 1 Sv = 1 J/kg (energia/massa)

- Unidade antiga (não SI): roentgen equivalent man (rem) → 100 rem = 1 Sv = 1 J/kg

Radiação: Grandezas de Proteção Radiológica

Dose Efetiva (E)

Soma ponderada das doses equivalentes (H_T) nos diversos tecidos ou órgãos (T):

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

órgão / tecido	w_T
medula óssea vermelha, intestino grosso, pulmão, estômago, mama, tecidos restantes*	0,12 (cada)
Gônadas	0,08
Bexiga, esôfago, fígado, tireóide	0,04 (cada)
Superfície óssea, cérebro, glândulas salivares, pele	0,01 (cada)

*Tecidos restantes: baço, coração, extratorácica, glândulas intestino delgado, mucosa oral, músculo, nódulos linfáticos, pâncreas, próstata, região rins, suprarrenais, timo, útero vesícula biliar.

w_T → fator de ponderação que caracteriza a sensibilidade relativa dos vários tecidos/órgãos com respeito a indução de câncer e mortalidade

Radiação: Grandezas de Proteção Radiológica

Dose Coletiva

Expressão da dose efetiva total recebida por uma população ou um grupo de pessoas, definida como o produto do número de indivíduos expostos a uma fonte de radiação ionizante, pelo valor médio da distribuição de dose efetiva desses indivíduos

→ Leva em conta o grupo de pessoas expostas a radiação e o tempo de exposição

→ Otimização da proteção radiológica

Unidade (SI): pessoa-sievert (pessoa.Sv)

Radiação: Grandezas Operacionais

Equivalente de Dose

Grandeza definida de acordo com o poder de penetração da radiação (razão entre a dose equivalente na pele e a dose efetiva)

→ baixo poder de penetração:

partículas α e β com $E < 2\text{MeV}$ e fótons com $E < 12\text{keV}$

→ penetrante:

demais radiações (inclusive nêutrons)

Objetivo	Grandezas	
	Monitoração de Área	Monitoração Individual
controle da dose efetiva	equivalente de dose ambiental $H'(10)$	equivalente de dose pessoal $H_p(10)$
controle da dose equivalente na pele	equivalente de dose direcional $H(0,07,\Omega)$	equivalente de dose pessoal $H_p(0,07)$