



Produto Educacional  
***Uma sequência didática para o ensino dos benefícios da radiação ionizante***

Di Angelo Matos Pinheiro

Orientador:  
Dr. José Ricardo de Sousa

Manaus - AM  
Setembro 2016

Dedico este trabalho aos ribeirinhos amazonenses que,  
lutam para estudar, buscando uma perspectiva de vida melhor.

## Carta de Apresentação

Manaus, 2016.

*Caro(a) professor(a), este material que agora tens em mãos foi criado na intenção de auxilia-lo em suas atividades docentes na disciplina de Física no Ensino Médio. A proposta inicial foi aplicada um curso subsequente, no entanto pode ser desenvolvida logo após o tema Ondas, no Segundo ano do Ensino Médio.*

*Baseamos a sequência didática na teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, no entanto fica a seu critério, complementar, ou modificar os alicerces dessa sequência, pois ela é mutável.*

*A sequência buscar uma lógica de raciocínio que começa com o contexto histórico do tema radiação, passarmos então para as formas de operacionalizar matematicamente, e o ápice da sequência é quando falarmos sobre os benéficos da radiação ionizantes, e onde elas estão aplicadas.*

*Esperamos que gostem de nosso material, e bom trabalho.*

*Di Angelo Matos Pinheiro*

# Sumário

Carta de Apresentação.....	3
Sumário.....	4
INTRODUÇÃO.....	5
1.2. CONCEITO DE RADIAÇÃO E RADIAÇÃO IONIZANTE.....	11
1.3. GRANDEZAS E UNIDADES DE MEDIDAS DE RADIAÇÃO.....	13
1.5. BENEFÍCIOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE.....	17
1.5.1. RADIAÇÃO NA MEDICINA.....	17
1.5.2. RADIAÇÃO NA INDÚSTRIA.....	18
1.5.3. RADIAÇÃO NA AGROPECUÁRIA.....	19
3. SOBRE O PRODUTO EDUCACIONAL.....	21
3.1. DESCRIÇÃO DO PRODUTO.....	21
3.2. ROTEIRO DE APLICAÇÃO.....	33
REFERÊNCIAS.....	35
Apêndice A - Questionário 1.....	39
Apêndice B - Questionário 2.....	40
Apêndice C - Exercícios Aula 06.....	41
Apêndice D - Avaliação Final - Aula 09.....	42
Apêndice E- Apresentação de slides da aula 02.....	45
Apêndice F- Apresentação de slides da aula 04 e 05.....	52
Apêndice G – Apresentação de slides da aula 07e 08.....	66
Anexo A - Artigo o que é irradiação? O que é contaminação? Vamos esclarecer?.....	89
Anexo B - Alimentos irradiados na Europa.....	93

## INTRODUÇÃO

O tema escolhido para esse trabalho é importante para o entendimento de um dos principais fenômenos naturais, que, no entanto é mal interpretado pelos alunos. A escola<sup>17</sup> por sua vez negligencia o tratamento desse tema em sala de aula, de forma que o aluno não se aproxima, ou mesmo não tem contato com o tema, conforme afirma [Rego 2004]:

Apesar de não ser fácil dar uma definição universal do termo "radiação" [...] a informação e formação qualificada estão ausentes da escola. Contrariando a sua importância e impacto na vida moderna (basta, por exemplo, pensar na recente revolução das comunicações, que se serve de potentes transmissores de ondas electromagnéticas), o conhecimento geral que a população tem sobre o assunto é muitas vezes limitado à visão transmitida pelos *media*. (grifo do autor)

Mas essa falta de contato dos alunos com tema pode ser explicado pela sua “ausência nos currículos escolares, ou a sua diminuição perante outros temas abordados”, como afirma [Rego 2004]. Esse empecilho não deveria existir, pois o tema está presente nos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN (2002), segundo [Brasil 2002]:

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria [...] o estudo da **matéria e radiação** indica um tema capaz de organizar as competências relacionadas à compreensão do mundo material microscópico. (grifo do autor)

O ensino de física das radiações, e como um todo, está de certa forma engessado, carente de novas abordagens para um despertar dos alunos para essa área, sendo assim, o professor deve se reinventar para atrair seu público, como afirmar [Campos 2009]:

O mundo está em constante mudança e a educação também merece algo inovador diante das inúmeras dificuldades

---

<sup>17</sup> A referência escola é para todos que atuam diretamente no ensino como professores, pedagogos e gestores.

encontradas no processo ensino-aprendizagem nas escolas. As novas tecnologias, a prática educativa, o perfil do aluno, o contexto atual em que ele vive, tudo isso são fatores a serem observados e questionados para que haja dispositivos de novas possibilidades de trabalho. Para que isso aconteça é fundamental que os professores estejam abertos às mudanças contínuas e em busca de novas atitudes.

Dessa forma, o objetivo desse produto é mudar esse paradigma, onde buscaremos relacionar a Aprendizagem Significativa, de David Ausubel, com o ensino da Física das radiações, configurando assim uma tentativa de modificar essa realidade ora apresentada. Este material mostra como levar o aluno a sair da ideia midiaticizada, senso comum, e encontrar o conhecimento científico, embasado na perspectiva de teoria da aprendizagem significativa.

## 1. O ENSINO DE FÍSICA: RADIAÇÕES

Neste item do produto, vamos falar sobre nosso tema, para termos entendimento do processo de construção cognitiva do qual os alunos participarão, partindo da história até chegarmos às aplicações atuais.

Convivemos com a radiação, que é de origem eletromagnética proveniente de várias fontes, tanto natural quanto artificial, e de fato a vida na Terra só existe por causa dela, sendo um aspecto primordial do nosso cotidiano. Assim é a radiação ionizante, que faz parte dessas variedades de outras radiações.

Historicamente faz pouco tempo que a conhecemos, como relata [Moreira, J. 2011]:

A radiação ionizante está presente desde que a terra foi criada. Antes da década de 1890, existiam apenas fontes naturais de radiação, tais como a radiação de origem cósmica, e material radioativo proveniente do corpo, rochas, solo e ar. Grande parte da exposição à radiação deu-se sob a forma de radiação cósmica ou terrestre de baixo nível. Como a radiação não pode ser observada através de qualquer um dos cinco sentidos, os humanos não tinham conhecimento da sua existência.

Sendo assim, vamos começar neste capítulo um breve estudo sobre a radiação, em específico a ionizante, para nos dar suporte ao conteúdo que abordaremos na sequência didática. O capítulo está dividido em 5 partes, que são exatamente as partes que utilizaremos na abordagem em sala de aula com mais ênfase no tema.

Neste primeiro item vamos trabalhar o contexto histórico desde a descoberta do raio-X até a construção de dosagem máxima que o ser humano pode absorver, onde uma nova área na ciência foi criada, a radiobiologia. Nos itens seguintes conceituaremos radiação, e entre elas a ionizante. Daremos então prosseguimento à construção do tema, apresentando o entendimento que temos cientificamente aceito.

## **1.1. PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO TEMA: RADIAÇÕES.**

Faz-nos importante entender o processo histórico de formação do tema, para demonstramos aos alunos e interessados que pessoas comuns, porém estudiosas, formaram os conceitos que temos como verdadeiros cientificamente falando, onde cada cientista contribuiu de forma parcelada, e ao final um conjunto de informações é aglomerado para entendimento do fenômeno físico, sua quantificação e principais aplicações tecnológicas, ou no cotidiano.

No subitem abaixo vamos discorrer um pouco sobre os principais cientistas que contribuíram para esse tema, doando muita das vezes sua vida em nome da ciência.

### **1.1.1. WILHELM CONRAD RÖENTGEN ATÉ ROLF MAXIMILIAN SIEVERT**

A história da radiação na humanidade começa em 1895, com a descoberta de algo novo por Wilhelm Conrad Röntgen, com 50 anos, professor de física na Alemanha. [Xavier 2007, pg. 83] relata o ocorrido no começo do inverno desse ano:

Na noite de 8 de novembro de 1895, o físico alemão Wilhelm C. Röntgen trabalhava em uma sala totalmente escura, utilizando uma válvula com a qual estudava a condutividade dos gases. A certa distância da válvula, havia uma folha de papel tratada com platinocianeto de bário usada como tela. Röntgen viu com espanto a tela brilhar, emitindo luz. Achou que esta luz não poderia ser proveniente da válvula, pois a mesma estava coberta por uma cartolina negra e nada (luz ou raio catódico) poderia ter vindo dela. Surpreso, fez várias investigações. Virou a tela, expondo o lado sem o revestimento de platinocianeto de bário, e esta continuava a brilhar. Colocou diversos objetos entre a válvula e a tela e viu que todos pareciam transparentes, mas não demorou a ter uma surpresa maior, quando sua mão escorregou em frente à válvula e a tela e viu seus ossos na tela [...] um relatório preliminar de sua descoberta [...]: objetos tornavam-se transparentes diante de novos raios que, por serem desconhecidos, chamou de raio-X.

Essa descoberta do raio-X produzida em tubo de raios catódicos não demoram pra ser mais estudada e novos cientistas começaram a contribuir ainda mais para este “novo fenômeno”. A segunda contribuição importante nessa área ocorreu quando Antoine Henri Becquerel, com 44 anos, entrou em comunicação com a Academia de Ciências de Paris para apresentar suas descobertas. [Okuno 2007] relata:

O segundo evento importante nessa área foi a comunicação feita à Academia de Ciências de Paris, em fevereiro de 1896, por Antoine Henri Becquerel, professor de Física da Escola Politécnica de Paris, então com 44 anos. Nessa época, ele havia retomado as pesquisas realizadas por seu pai com substâncias fosforescentes que absorviam luz para depois reemitirem. Becquerel colocou uma certa quantidade de sulfato de urânio e potássio, um sal de urânio, sobre uma placa fotográfica, embrulhada em papel preto, expondo o conjunto à luz solar durante vários dias. Quando o filme foi revelado, a posição do mineral ficou claramente marcada com manchas escuras.[...] Ele continuou suas pesquisas, até que um dia o céu ficou nublado e não conseguiu repetir a experiência. Becquerel então guardou o sal de urânio sobre o filme fotográfico em uma gaveta, na ausência da luz. Mais tarde ao revelar a chapa, ele teve uma grande surpresa. Esperava, no máximo, umas manchas pouco escuras devido à luz difusa e ao pouco tempo de iluminação. No entanto, as manchas estavam muito mais escuras do que o conjunto quando exposto ao sol.

Dessa forma Becquerel inventou o processo de registro de radiação, que hoje é bastante utilizado, e conhecemos como radiografia. Ele continuou seus estudos e encontrou similaridade entre as emanções do sal de urânio com o raio-X.

Os avanços nessa área eram notáveis, no entanto como era um conhecimento novo, ainda não se tinha um total entendimento do fenômeno, porém novos nomes foram surgindo com novas contribuições, como é o caso do casal Pierre Curie e Marie Curie que tinham como tese de estudo, em 1897, os então “raios de Becquerel”. Marie suspeitava que poderiam ter outros elementos com a mesma propriedade do urânio, como afirmar Okuno (2007):

[...]ela passou a procurar outros materiais que emitissem os “raios de Becquerel”. De fato logo a seguir, ela descobriu que o tório também emitia espontaneamente raios semelhantes aos do urânio e com intensidade análoga, comprovando sua teoria. Propôs o uso do termo radioatividade, significando ativado por uma radiação penetrante que preenche todo o espaço, para emissão da “radiância” pelos corpos como urânio e o tório, que foram chamados de “radioelementos”.

Em seguida seu marido Pierre entrou na pesquisa e os dois encontraram ainda no mesmo ano, outros elementos com as mesmas características do urânio, como o polônio, porém 400 vezes mais radioativo, que recebeu esse nome em virtude do país de origem do Marie, a Polônia, e mais tarde no mesmo ano anunciaram a existência de outro elemento radioativo que puseram o nome de rádio, como afirma Okuno (2007).

Ainda em 1898, outros cientistas começaram a identificar algumas características que diferenciavam as emanções da radiação, o primeiro a perceber isso foi Ernest Rutheford, como relata Okuno (2007):

[...] a emanção proveniente de substâncias radioativas era complexa, sendo constituída por pelo menos dois tipos de radiação: um deles facilmente absorvido, e o outro um pouco mais penetrante, sendo ambos desviados por campos magnéticos, só que em direções opostas. Por conveniência, tais radiações foram chamadas, respectivamente, radiação alfa e radiação beta.

Hoje comumente denominamos partículas alfa e beta. Os estudos nessa área prosseguiram e, um ano mais tarde, 1899, “Paul Villard identificou um terceiro tipo de radiação, que recebeu o nome de radiação gama que, ao contrário dos dois primeiros tipos, não sofria deflexão em campos magnéticos”, como descreve Okuno (2007).

Nos anos seguintes várias outras contribuições foram surgindo, como a de Victor Francis Hess, 1912, descobriu os raios cósmicos (radiação ionizante) e o que influencia em sua intensidade, como a densidade da atmosfera, como trata Moreira, J. (2011).

Durante esse período começou então o uso desenfreado de radiação ionizantes para tirar radiografias, ou mesmo para tratamento de pele, como afirma [Okuno 2010], sem a preocupação com as consequências que, até então eram desconhecidas. Tubos de raio-X eram fabricados em garagens, sem nenhum controle. No entanto decorreram 30 anos desde a descoberta do raio-X, até a tomada da decisão de se criar uma comissão que regulasse o uso de radiação ionizante, pois foram quando se tornaram evidentes os efeitos biológicos desses instrumentos.

Sendo assim novos nomes foram surgindo, agora com a preocupação de estudar os efeitos da radiação na humanidade, nascendo então uma nova área.

Vários cientistas contribuíram, e ainda contribuem para esse estudo, mas aqui vamos pautar apenas dois. Primeiro vamos falar sobre Louis Harold Gray, Okuno (2010) nos fala que, ele era físico e radiologista inglês, cujo sobrenome foi dada a unidade de dose absorvida, gray (Gy), em sua homenagem. Trabalhou principalmente com investigações dos efeitos da radiação em sistemas biológicos, originando o campo da radiobiologia, foi membro efetivo do ICRU (*Internacional Commission on Radiological Units and Measurements*), que abordaremos mais profundamente no item medidas de radiação. Outro nome importante nesta área foi Rolf Maximilian Sievert, onde Okuno (2010) comenta:

Físico-médico sueco, cujo sobrenome foi dado à unidade de dose equivalente, equivalente de dose e dose efetiva, Sievert (Sv), em sua homenagem. Trabalhou em dosimetria da radiação, principalmente na radiologia diagnóstica e radioterapia. Fez contribuições importantes em pesquisa na área de efeitos biológicos das radiações. Foi um dos fundadores da International Radiation Protection Association (IRPA).

Dessa forma podemos observar que o tema foi construído paulatinamente, e muito do que conhecemos hoje, foi contribuições desses cientistas, que por não compreenderem as consequências das radiações ionizantes acabaram sendo vítimas de seus efeitos, vindo a ter comprometimento de sua saúde, e até levando-os a morte. No entanto hoje podemos considerar que o uso desse fenômeno é algo bastante seguro como veremos nos próximos itens.

## **1.2. CONCEITO DE RADIAÇÃO E RADIAÇÃO IONIZANTE**

“A radiação é a propagação de energia sob várias formas”, assim é definida radiação segundo [Okuno 1982]. Ele divide-se basicamente em dois

tipos: corpuscular, ou seja, quando ele tem massa, carga elétrica, e podem sofrer desvios por campos magnéticos, como afirma [Okuno 2007], ou ainda sob forma de ondas eletromagnéticas, que são constituídas com campo elétrico e campo magnético oscilante, e que propagam a velocidade da luz  $c$  no vácuo.

A radiação corpuscular pode ser qualquer feixe de partículas elementares, porém aqui pontuaremos apenas duas: radiação alfa e radiação beta, que [Okuno 1982] chama de partículas alfa e beta. Segundo ela, a partícula alfa é formada por um conjunto de dois prótons e dois nêutrons, comparado ao núcleo de hélio que tem a mesma composição. Logo a partícula tem carga positiva e um alto poder de ionização, visto sua carga elétrica, por isso seu poder de penetração é curto, como afirma [Halliday 2009]. Já a radiação beta trata-se de um elétron livre, que alcança uma velocidade maior, no decaimento também chamado beta, sendo assim tem mais energia cinética que a partícula alfa, fazendo com que penetre mais em superfícies, ou no corpo humano.

Já a radiação eletromagnética não tem massa, nem carga elétrica, não sofrem desvios por campos magnéticos, e possuem um alto poder de penetração. Micro-ondas, ondas de radio, ondas de luminosas (luz), raios infravermelhos, raios ultravioletas, raio-X, e raios gamas são consideradas radiação eletromagnética, como afirma [Moreira, J. 2011]. No entanto desse amplo espectro eletromagnético as radiações consideradas ionizantes são os raio-X e radiação gama, pois possuem energia suficiente para ionizar a matéria, ou seja tem energia maior que a energia de ligação do elétron em um átomo, de forma que os removem, resultando em elétrons livres e íons positivos, como afirma [Heneine 2006]. Sob o ponto de vista dos sentidos humanos, a radiação ionizante são: invisíveis, inodoras, inaudíveis, insípidas e indolores, como afirma [Moreira, J. 2011].

Para fechar este item precisamos ainda esclarecer uma diferença sutil de radiação ionizante, a questão da diferença entre contaminação e irradiação. Todos que são expostos a radiação ionizantes não se tornam contaminados (quando nos referimos contaminados, queremos dizer radioativo), pois a radiação o atravessa, não sendo armazenado no corpo, no entanto dependendo de sua intensidade ocorrerá outros efeitos, como mutação celular. [Okuno 2007] relata:

Tanto o raio-X quanto os raios gama a que mais comumente podemos está expostos, não tornam radioativos os materiais ou seres humanos irradiados. Entretanto, se uma pessoa ingerir, inalar ou sofre contaminação com radionuclídeos, aí sim essa pessoa fica radioativa, ou melhor, ela própria se torna uma fonte radioativa. Todas as pessoas contaminadas são também irradiadas, uma vez que estão com átomos radioativos dentro ou fora do corpo. Porém nem todas as pessoas irradiadas são contaminadas, ou seja, elas podem não está contaminadas mas podem está sujeita à radiação emitida por átomos radioativos de uma pessoa ou de um local contaminado, dependendo da proximidade.

[Rodrigues Júnior 2007, pg. 41] confirma a ideia afirmando que “a irradiação não torna objetos ou seres vivos radioativos, ou portadores de radiação”. Sendo assim, com esses conceitos em mente, podemos dar prosseguimento ao conteúdo, de forma que eles irão nos dar base para o entendimento dos próximos itens do nosso trabalho.

### **1.3. GRANDEZAS E UNIDADES DE MEDIDAS DE RADIAÇÃO**

A partir do momento em que se descobriu que a radiação ionizante causava efeitos biológicos nos seres humanos, houve então necessidade de criar grandezas e unidades de medidas para mensurar a radiação e encontrar valores seguros que podíamos estar expostos.

O primeiro passo foi a criação da ICRU (*Internacional Commission on Radiological Units and Measurements*), como o próprio nome diz o objetivo dessa comissão era criar as formas de medir a radiação, como descreve [Okuno 2010]:

Como o próprio nome diz ela tinha por finalidade estabelecer grandezas e unidades de medidas de física das radiações, critério de medidas e divulgação. Isso possibilitaria a comparação entre medidas feitas em diferentes laboratórios, clínicas médicas e institutos de pesquisa, usando os mais variados equipamentos, etc.

Há uma variedade de grandezas físicas das radiações, e dentre elas há outras subdivisões, no entanto para o nosso trabalho abordaremos apenas 4

grandezas e suas respectivas unidades, pois foram as que consideramos mais importantes para o nosso estudo e que iremos apresentar a partir de agora.

[Okuno 2007] relata que a primeira grandeza a ser criada em 1928, foi a de exposição, que consiste em medir a produção ionização no ar por unidade de massa de ar. A unidade de medida usual chamava-se Röntgen(R), entretanto com a criação do sistema internacional de unidades passou a ser adotado o Coulomb por quilograma(C/kg), onde a equivalência entre essas duas medidas encontramos no quadro 02.

Ainda de acordo com [Okuno 2007], essa unidade nada correspondia com a tentativa de medir quantidade de radiação absorvida por quantidade massa, seja ela um objeto, ou um ser vivo. Assim em 1950, criou-se a grandeza dose absorvida, que é a energia média cedida pela radiação ionizante à matéria por unidade de massa da matéria. A primeira unidade de medida a ser utilizada foi a *radiation absorbed dose* (rad), entretanto em recomendação do sistema internacional passou a ser usado o Joule por quilograma (J/kg), e em homenagem a Louis Harold Gray, 1 J/kg passou a ser adotado 1 Gy. A equivalência entre o Gy e rad está no quadro 02.

Outra grandeza física de radiação é a dose equivalente, pois de acordo com [Okuno 2007] “para uma mesma dose absorvida, o efeito biológico pode ser diferente, podendo ser maior ou menor, dependendo do tipo de radiação”. De fato a dose equivalente é obtida a partir da dose absorvida multiplicada por um fator de ponderação (adimensional), que é obtido através do tipo de radiação como afirma [Okuno 2010]. Ainda segundo ela, os valores para os fatores de ponderação são específicos para cada tipo de partícula, assim como níveis de energia. Esses valores foram criados pela ICRP (*Internacional Commission on Radiological Protection*) em 1990 e ajustados em 2007. A unidade de medida original de dose equivalente era o rem (*Röntgen equivalent man*), no entanto para todos os efeitos a unidade de dose absorvida e dose equivalente é joule por quilograma(J/kg), porém em homenagem a Rolf Maximilian Sievert a unidade de dose equivalente passou a ser chamada de Sievert (Sv), a conversão entre rem e Sv está no quadro 02.

Grandezas	Unidade no SI	Unidade Original	Conversão
Atividade	Bq = s <sup>-1</sup>	Ci	1 Ci = 3,7x10 <sup>10</sup> Bq
Exposição	Gy(J/kg)	rad	1 Gy = 100 rad
Dose Absorvida	C/kg	R(RÖENTGEN)	1 R = 2,58x10 <sup>-4</sup> C/kg
Dose Equivalente	Sv	Rem	1 Sv = 100 Rem

**Quadro 01** – Grandezas e unidades de medidas de física da radiação

E por fim, em se tratado de grandezas físicas de radiação, temos a atividade, essa grandeza está relacionada com a fonte radioativa, medindo o número de emissões por unidade de tempo, como afirma [Heneine 2006]. Para ele a palavra “desintegração” é usada por razões históricas, porém o correto seria emissões, visto que nem toda emissão é acompanhada de desintegração do átomo. A unidade mais antiga de atividade é o Curie (Ci). Ela é aproximadamente a quantidade de desintegrações de 1 grama de Rádío 226, porém para o sistema internacional de unidade a unidade utilizada é Bequerel (Bq), onde a conversão entre essas unidades também está no quadro 02.

#### 1.4. MEDIDAS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICAS

Tendo em vista os danos biológicos causados pela radiação ionizante em seres vivos, tornou-se necessário criar meios de proteção contra a radiação, como afirma [Okuno 1986]. Dessa forma é indispensável e obrigatório aos que trabalham com a radiação e a população em geral, a utilizem em condições padronizadas, e eficiente proteção dos usuários, como determina [Heneine 2006].

Ainda de acordo com [Heneine 2006] os efeitos da radiação estão relacionados a dose única ou cumulativa, sendo assim a proteção visa que o usuário não ultrapasse os limites máximos permissíveis, de forma a restringir os efeitos somáticos nos indivíduos expostos. [Okuno 2007] determina que o tal limite de dose equivalente para uma aplicação uniforme no corpo, não deve passar de 50 mSv para trabalhadores de radiação, e 5 mSv para a população em geral, no entanto para tratamentos de radioterapia, as doses podem ser maiores, no entanto são em áreas localizadas.

Sendo assim, [Heneine 2006] afirma que as medidas de proteção para evitar ultrapassar os limites permissíveis podem ser agrupadas em 3 itens: distância da fonte, tempo de exposição e diminuição da exposição blindagem.

[Rodrigues Júnior 2007, pg 40] afirma que a radiação em geral respeita a lei do inverso do quadrado da distância, ou seja, ao se distanciar da fonte radioativa a irradiação diminui com o quadrado da distância, é lógico que se for o caso de contaminação não adiantará se afastar da fonte, pois o indivíduo contaminado carrega material radioativo, nesse caso [Heneine 2006] afirma que existem alguns quimioterápicos que reduzem a quantidade de radiação. No entanto eles são mais efetivos quando administrado antes da exposição a radiação. Mesmo assim não há garantia total de proteção contra radiações.

[Heneine 2006] afirma que o melhor a se fazer é está blindado contra a radiação, onde a blindagem consiste:

[...] no uso de barreiras absorventes, geralmente de chumbo, entre as fontes de radiação e os sistemas biológicos. As barreiras são altamente eficientes para partículas  $\alpha$  e  $\beta$ . Mas para a radiação  $\gamma$  e os Rx, depende da espessura da barreira. Elas devem ser muito espessas, se as radiações forem altamente energéticas. São poucas eficientes para radiações cósmicas. Substâncias radioativas devem ser guardadas em depósitos especiais, de chumbo, chamado "castelos".

No caso de falha na blindagem, como já ocorreram em caso de usinas nucleares pelo mundo como o caso de Chernobyl, em 1986, na Ucrânia, afirma [Merçon 2004, pg 29], e o acidente de Fukushima, em 2011, como relata [Moreira, J. 2011], já sabemos que devemos manter uma distância segura da fonte de radiação, no entanto [Heneine 2006] alerta para outra importante medida a ser tomada, o tempo de exposição. A exposição a radiação deve ter

um mínimo de tempo de duração, visto que as doses podem ser acumulativas com o tempo, assim minimizando os riscos.

Mesmo com todas essas medidas tomadas os indivíduos ainda correm sérios riscos de sofrer os efeitos da radiação, visto a grande quantidade de energia que pode ser liberada por esse fenômeno, de forma que não há garantias de 100% de eficiência, por isso os controles de qualidade dessas medidas devem ser levados ao máximo.

## **1.5. BENEFÍCIOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE**

Apesar de toda preocupação com o poder da radiação ionizante, em virtude de seu alto poder energético, ainda é possível ter certo controle sobre a sua produção, assim como sua intensidade. Sendo assim algo considerado por muitos como vilão, pode sim ajudar a humanidade contra batalhas em tratamentos de enfermidades ou apenas diagnósticos, detecção de vazamentos em equipamentos industriais ou aeronaves, e aplicações na agricultura evitando o uso de agrotóxicos, melhorando assim a qualidade dos produtos agrícolas. Vejamos a seguir algumas aplicações:

### **1.5.1. RADIAÇÃO NA MEDICINA**

O uso comumente conhecido de radiação ionizante é na área da saúde, principalmente na área de radiologia como diagnóstico de imagens, que consiste em emitir um feixe de raio-X para obtenção de imagens do interior de um corpo em uma chapa fotográfica como afirma [Okuno 2007]. Dessa forma, o médico examina a chapa e verifica se há descontinuidade das manchas cinza, indicando assim qualquer anomalia nos ossos, ou manchas mais escuras ou mais claras nos tecidos, indicando tumores ou corpos estranhos.

Outra forma de utilização da radiação é para tratamento de tumores como afirma [Okuno 2007]:

A radioterapia utiliza a radiação para tratamento de tumores principalmente os malignos, e baseia-se na destruição de tumor pela absorção de energia da radiação. O princípio básico utilizado maximiza o dano no tumor e minimiza o dano em tecidos vizinhos normais, o que se consegue irradiando o tumor de várias direções. Quanto mais profundo o tumor, mais energética deve ser a radiação a ser utilizada.

Há outras formas de utilização da radiação no tratamento de doenças e diagnósticos, como, por exemplo, a ingestão de radioisótopos que podem ser marcadores, no caso de diagnóstico, para a medição de alguns órgãos que fixam esses elementos. No entanto há nesse processo uma preocupação com o tratamento dado ao material radioativo ingerido, que deve ser confeccionado com elementos radioativos com meia-vida curta, ou seja, perdem seu poder energético em um tempo curto.

### **1.5.2 RADIAÇÃO NA INDÚSTRIA**

A radiação ionizante na indústria se dá basicamente de forma similar ao diagnóstico de tecidos e ossos, com o objetivo porém, de verificar falhas em peças, desgastes de soldas, etc. No entanto, por se tratar muitas vezes de uma material mais denso é necessário usar uma radiação com mais energia, [Shinohara 2002] afirma:

O uso das radiações ionizantes nas indústrias constitui-se num fator fundamental para o desenvolvimento do controle de qualidade em diversos processos industriais. Dentre as técnicas utilizadas, destaca-se o método de inspeção da integridade estrutural dos componentes, dispositivos e equipamentos através de ensaios não destrutivos utilizando fontes radioativas. Este método chama-se radiografia industrial com raios-gama, conhecido por gamagrafia, e é amplamente empregado nas siderúrgicas, na indústria do petróleo, nas indústrias aeronáuticas e companhias aéreas. As aplicações da gamagrafia são vitais no caso de inspeção de conjuntos/sistemas complexos, soldas e materiais de fundição, análise de desgaste de peças em decorrência do atrito, redução de espessura das paredes em função da corrosão e erosão, que normalmente não é possível de realizado com raios-X.

Dessa forma percebemos que na indústria é possível o uso da radiação gama, em virtude de seu poder de penetração ser maior do que outras radiações para esses casos de materiais pesados. No entanto há outras formas de utilizar a radiação na indústria, como, por exemplo, na indústria farmacêutica, com a esterilização de materiais cirúrgicos, geralmente descartáveis e sensíveis ao calor, com o objetivo de torná-los estéreis. Como determina [Moriya 2008, pg. 272]:

A radiação é uma alternativa na esterilização de artigos termossensíveis (seringa de plástico, agulha hipodérmicas, luvas, fios cirúrgicos), por atuar em baixas temperaturas, é um método disponível em escala industrial devido aos elevados custos de implantação e controle.

Assim então é possível realizar o processo de esterilização desses materiais a temperaturas baixas, e como a radiação gama tem grande poder de penetração, e não é armazenada nos objetos, esses objetos ficam livre de qualquer vestígio de radiação.

### **1.5.3 RADIAÇÃO NA AGROPECUÁRIA**

O tratamento de alimentos de forma em geral com radiação causa até espanto nas pessoas, justamente por não compreender totalmente a rigorosidade usada para a utilização desse fenômeno em nosso benefício. A radiação atua sobre as substâncias alimentícias, e vai ionizar alguns átomos e alterar a estrutura de moléculas vitais, provocando principalmente morte de bactérias e microrganismos.

Há uma ampla utilização e benefícios dessa prática envolvendo principalmente frutas, onde é possível evitar que raízes ou tubérculos brotem durante o armazenamento (como é o caso de cebolas e batatas), mas também pode ser utilizadas na eliminação de insetos dos grãos antes do armazenamento, ou ainda para preservar alimentos em geral (carnes, frango, leite, derivados de leite), inibindo ou destruindo as bactérias e outros microrganismos [Santos 2003, pg 200]. Além desses benefícios apresentados

eles também retardam a maturação de frutas, fazendo com que durem mais tempo armazenados.

[Santos 2003, pg 201] ainda afirma que não é somente alimentos frescos ou cru que podem ser irradiados, alimentos congelados e já beneficiados podem receber o mesmo tratamento para inibir a criação de microrganismos patogênicos como o caso de *Salmonella*.

Sendo assim, percebemos que a radiação ionizante está presente de várias formas no nosso dia-a-dia, e até em lugares que não contávamos com seus benefícios como o caso da agropecuária. É esse ponto que daremos ênfase e nosso trabalho.

### **3. SOBRE O PRODUTO EDUCACIONAL**

O produto educacional aqui proposto é uma forma de por em prática os conhecimentos adquiridos no mestrado, acima de tudo, sair da teorização e fazer algo realmente utilizável, prático, posto à prova, diferentemente dos mestrados acadêmicos, que por muitas vezes a publicação do conhecimento encerra-se na própria teoria. O objetivo de se ter um produto é a valorização da experiência profissional, como afirma [Leodoro 2010].

O que é apresentado aqui não é uma solução definitiva, é apenas uma ferramenta que pode ser usada para melhorar a forma de ensinar, e por conseguinte, ter uma melhor aprendizagem. O produto não é imutável, é passível de mudanças, adaptações, e novas interpretações.

A sequencia didática aqui proposta contempla 9 tempos de aulas de 45 mim cada, onde cada atividade dever ser desenvolvida no tempo da aula estipulada. Ela se divide em 05 pontos básicos: aquisição das concepções dos alunos sobre o tema radiação, assim como em específico ionizante, de forma que a cada aula, ou assim que possível, retornamos e confrontamos essas concepções (Aula 01); trabalhar de forma dialogada a construção do tema, exemplificando cada personalidade que contribuiu para esse contexto histórico (Aulas 02 e 03); operacionalização matemática do tema de acordo com o nível dos alunos em questão, em se tratando de medidas de radiação (Aulas 04, 05 e 06); mostrar a face benéfica da radiação ionizante e sua aplicabilidade presente na medicina, indústria e agropecuária (Aulas 07 e 08); e por fim, avaliar a aprendizagem adquirida com questões de vestibulares e Enem de nosso país nos últimos anos (Aula 09).

#### **3.1. DESCRIÇÃO DO PRODUTO**

**- AULA 01 - AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA SOBRE RADIAÇÕES IONIZANTES.**

## **APRESENTAÇÃO:**

Esta aula visa sondar o conhecimento prévio do aluno através de um questionário, para obter as concepções, que chamamos de “alternativas”, pois, podem não condizer com o conhecimento científico aceito. Essas concepções vão ser usadas durante nossas aulas, e sempre que possível vamos confrontá-la, causando assim uma mudança nos subsunções (conhecimento prévio).

**NÍVEL ESCOLAR:** Técnico em Edificações (Subsequente)

**DURAÇÃO:** 45 mim.

**OBJETIVO:** Avaliar as concepções alternativas dos alunos sobre radiações ionizantes.

## **ATIVIDADE:**

**Aplicação de um questionário com perguntas subjetivas para verificação dos conhecimentos prévios dos alunos.**

Para a veracidade dos dados que serão coletados devemos avisar aos alunos que, não devem trocar informações, nem tão pouco buscar informações em outros meios como livros ou internet. As respostas são individuais e sem consultas. O objetivo aqui é verificar o nível de entendimento que cada aluno tem sobre o tema, e buscando nas respostas que virão pontos em que possam ser trabalhados na sequência didática.

## **AValiação DA AULA:**

A avaliação será conforme participação do aluno em sala de aula, assim como as respostas no questionário.

## **RECURSOS NECESSÁRIOS:**

Quadro branco, pincel, apagador e papel (questionário).

## **MATERIAL DE APOIO:**

Questionário 1 (**Apêndice A**)

## **- AULA 02 – RADIAÇÕES IONIZANTES: CONTEXTO HISTÓRICO**

### **APRESENTAÇÃO:**

Esta aula busca mostrar ao aluno que o conhecimento científico é construído paulatinamente, e que esse processo é confeccionado por seres humanos envolvidos em contexto histórico – político – social – econômico – cultural. Assim o tema radiação ionizante foi construído, por pessoas normais, no entanto empenhados em descobrir os segredos desse fenômeno físico.

**NÍVEL ESCOLAR:** Técnico em Edificações (Subsequente)

**DURAÇÃO:** 45 mim.

**OBJETIVO:** Reconhecer a Física como construção humana, cujo desenvolvimento está atrelado a contextos cultural, social, político e econômico, definidos historicamente.

### **ATIVIDADE:**

#### **1 – Aula expositiva dialogada**

A aula tem como princípio definir o que é radiação e suas formas de divisão. Já mencionando alguns itens que foram adquiridos com a avaliação diagnóstico. No entanto o foco é dialogar com os alunos a construção do conhecimento acerca do tema radiações, como: quem foi o primeiro a descobri-

la?; Quais os cientistas que mais contribuíram?; Quais eram suas reais intenções?

## **2 – Vídeos sobre as primeiras descobertas e tentativa de uso das radiações ionizantes.**

São dois vídeos aqui em questão, são trechos de uma série chamada Mistérios, disponível na internet<sup>18</sup>, um falando sobre o projeto Manhattan e os perigos de trabalhar com materiais radioativos, e o outro sobre as primeiras tentativas de utilizar radiação ionizante com interesses econômicos, o chamado Tratamento Tricho. Esses vídeos são ainda para firmar a ideia nos alunos de radiação como algo perigoso, corroborando com as informações que a mídia passa para a população. Os vídeos são acompanhados de questionários para que o aluno busque informações no vídeo, e não assistir apenas para entreter. Deve-se dar um tempo para as leituras das perguntas antes de iniciar os vídeos. É necessário também deixar claro aos alunos que sempre possível podemos pausar ou voltar pequenos trechos para entendimento dos detalhes em dúvida.

### **AValiação DA AULA:**

A avaliação será conforme participação do aluno em sala de aula, assim como as respostas no questionário.

### **RECURSOS NECESSÁRIOS:**

Projetor multimídia, caixas de som, quadro branco, pincel, apagador e papel (questionário).

### **MATERIAL DE APOIO:**

---

<sup>18</sup> Link para os vídeos disponível para download: 1) Projeto Manhattan: [http://www.4shared.com/video/10k-6mO1ba/Proj\\_Manh.html](http://www.4shared.com/video/10k-6mO1ba/Proj_Manh.html); 2) Tratamento Trico: [http://www.4shared.com/video/EhJUiuePba/Trat\\_Tric.html](http://www.4shared.com/video/EhJUiuePba/Trat_Tric.html).

- 1- Questionário 2 (**Apêndice B**)
- 2- Apresentação de slides (**Apêndice E**)

## **- AULA 03 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DE TEXTO SOBRE RADIAÇÃO.**

### **APRESENTAÇÃO:**

Essa aula muda o foco que estávamos contribuindo a afirmar, de que a radiação ionizante é algo extremamente perigoso, conforme a mídia, seja impressa, televisiva ou internet. A aula 03 mostra novas informações conceituais sobre radiação, que até então não abordamos, efetivamente será o primeiro contato com o conteúdo de radiação ionizante.

**NÍVEL ESCOLAR:** Técnico em Edificações (Subsequente)

**DURAÇÃO:** 45 mim.

**OBJETIVO:** Reconhecer a Física como construção humana, cujo desenvolvimento está atrelado a contextos cultural, social, político e econômico, definidos historicamente.

### **ATIVIDADE:**

**Análise e discussão do texto “o que é irradiação?” de Ary de Araujo Rodrigues Junior**

O texto a qual iremos analisar e discutir revela informações que o aluno ainda não teve contato, nesse caso novamente buscamos nas respostas da avaliação diagnóstica pontos em que podemos discutir e relacionar com o texto que será lido. Nesse ponto cabe particionar o tempo, para que eles consigam lê, e ainda discutir na mesma aula. O ideal é 30 mim para a leitura, e 15 mim para a discussão. É importante o professor saber mediar as falas, pois o texto

trás informações que são totalmente desconhecidas dos alunos, e pode haver tumulto, empolgação nos discursos dos alunos. Pode-se fazer inscrição de ordem na fala para que todos sejam ouvidos com atenção.

### **AVALIAÇÃO DA AULA:**

A avaliação será conforme participação do aluno em sala de aula

### **RECURSOS NECESSÁRIOS:**

Projeter multimídia, quadro branco, pincel, apagador e papel(texto).

### **MATERIAL DE APOIO:**

Disponível em: [www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num2/v08n02a11.pdf](http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num2/v08n02a11.pdf)  
(Anexo A),

### **- AULA 04 – MEDIDAS DE RADIAÇÃO: GRANDEZAS E UNIDADE DE MEDIDAS.**

### **APRESENTAÇÃO:**

Nesta aula, vamos operacionalizar matematicamente o fenômeno radiação, relacionando esse instrumento com o contexto histórico de descoberta e ampliação do estudo sobre nosso tema, assim como a criação da subárea chamada radiobiologia.

**NÍVEL ESCOLAR:** Técnico em Edificações (Subsequente)

**DURAÇÃO:** 45 mim.

**OBJETIVO:** Utilizar instrumentos de cálculos matemáticos na solução de problemas envolvendo grandezas físicas de radiação.

## **ATIVIDADE:**

### **Aula expositiva dialogada**

A aula será pautada na ideia que a radiação apesar de ser onda eletromagnética, ou corpuscular, é possível mensurá-la de várias formas, dependendo do objetivo da medida. O diálogo se dará a partir de questionamentos que nessa aula os alunos já terão base para responder ou relacionar com o tema. Nesta aula é sempre bom instigar o aluno a perceber por exemplo que as ondas eletromagnéticas têm velocidades iguais.

## **AValiação DA AULA:**

A avaliação será conforme participação do aluno em sala de aula

## **RECURSOS NECESSÁRIOS:**

Projeter multimídia, quadro branco, pincel, apagador e papel(texto).

## **MATERIAL DE APOIO:**

Apresentação de slides (**Apêndice F**)

## **- AULA 05 – MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÃO**

## **APRESENTAÇÃO:**

Todas as vezes que mencionamos o tema radiação, logo vêm à mente dos alunos, acidentes em usinas nucleares, desastres ambientais causados por esses acidentes, assim como o efeito da radiação em explosões de bombas atômicas. Dessa forma essa aula visa mostrar as formas de combater o excesso de radiação que ficaríamos sujeitos durante um evento como os citados.

**NÍVEL ESCOLAR:** Técnico em Edificações (Subsequente)

**DURAÇÃO:** 45 mim.

**OBJETIVO:** Discutir os efeitos biológicos da radiação e os impactos sociais e ambientais de desastres nucleares.

**ATIVIDADE:**

### **Aula expositiva dialogada**

Essa aula é na verdade uma implicação que consideramos na formação desses técnicos, visto que em algum momento eles podem se deparar com obras em ambientes como usina nucleares, ou mesmo em ambiente hospitalares que usam radiação ionizante. O diálogo se dará a partir de questionamentos que nessa aula os alunos já terão base para responder ou relacionar com o tema.

**AValiação DA AULA:**

A avaliação será conforme participação do aluno em sala de aula

**RECURSOS NECESSÁRIOS:**

Projetor multimídia, quadro branco, pincel, apagador e papel(texto).

**MATERIAL DE APOIO:**

Apresentação de slides (**Apêndice F**)

## **- AULA 06 – EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO**

### **APRESENTAÇÃO:**

Essa aula é para avaliar se o conteúdo está sendo organizado e subjugando o conhecimento prévio do aluno, em caso de errôneo. O conteúdo a ser avaliado é o mesmo das aulas 04 e 05.

**NÍVEL ESCOLAR:** Técnico em Edificações (Subsequente)

**DURAÇÃO:** 45 mim.

**OBJETIVO:** Avaliar a aprendizagem sobre medidas de radiação, assim como medidas de proteção contra radiação.

### **ATIVIDADE:**

#### **Exercício Avaliativo**

Aplicação do exercício avaliativo pode ocorrer com consulta às notas de aulas, porém deve se evitar a comunicação entre alunos, pois no exercício contem questões dissertativas e pessoais.

### **AVALIAÇÃO DA AULA:**

A avaliação será conforme as respostas dos alunos

### **RECURSOS NECESSÁRIOS:**

Quadro branco, pincel, apagador e papel(exercício).

### **MATERIAL DE APOIO:**

Exercício avaliativo– Radiações ionizantes (**Apêndice C**)

## **- AULA 07 E 08 – BENEFÍCIOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE**

### **APRESENTAÇÃO:**

Essa será a aula em que mostraremos aos alunos conceitos que a maioria da população desconhece, a utilização da radiação ionizante para nosso benefício, gerando assim no aluno um conforto maior ao falar sobre o tema.

**NÍVEL ESCOLAR:** Técnico em Edificações (Subsequente)

**DURAÇÃO:** 45 mim.

### **OBJETIVO:**

- Discutir os efeitos biológicos da radiação e os impactos sociais e ambientais.
- Auxiliar na elaboração de juízos de valor dos alunos em relação ao uso da ciência e tecnologia e as suas consequências.

### **ATIVIDADE:**

#### **Aula expositiva dialogada**

Utilizaremos apresentação de slides para mostrar as áreas onde está presente o uso da radiações ionizantes, e de que forma elas nos beneficiam. Esse é o ápice da nossa sequência didática, pois é nela que queremos desconstruir a ideia de radiação como algo que devemos evitar, ou mesmo não usá-la. Começaremos com as aplicações mais comuns como na área de medicina. Depois passaremos para uma área menos comum, que se trata da utilização na indústria, e por fim, aplicação em alimentos, que irá gerar quebra de parâmetros na concepção dos alunos.

### **AValiação da aula:**

A avaliação será conforme a participação dos alunos

### **RECURSOS NECESSÁRIOS:**

Projektor multimídia, quadro branco, pincel, apagador e papel(texto).

### **MATERIAL DE APOIO:**

Apresentação de slides (**Apêndice G**)

## **- AULA 09 – AVALIAÇÃO FINAL DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

### **APRESENTAÇÃO:**

Essa aula é para avaliar a aprendizagem do conteúdo apresentado na sequência através de questões presentes no ENEM, e vestibulares do Brasil. Essa avaliação é uma forma que temos de mensurar a capacidade do aluno de sintetizar as ideias abstraídas e aplicar em contextos que foram mencionados em nossas aulas. Acreditamos ainda que apesar de tentarmos aulas com metodologias diferentes, o que importa é a aprendizagem, e com ela por à prova em exames comuns para outros níveis de ensino.

**NÍVEL ESCOLAR:** Técnico em Edificações (Subsequente)

**DURAÇÃO:** 45 mim.

**OBJETIVO:** Verificar a capacidade do aluno de síntese teórica e abstração matemática sobre radiação ionizante.

### **ATIVIDADE:**

**Avaliação final**

Essa avaliação deve ser feita no modo tradicional de exames de vestibulares e ENEM, sem consultas, sem comunicação, apenas com os materiais essenciais para a realização da prova.

**AVALIAÇÃO DA AULA:**

A avaliação será conforme as respostas dos alunos

**RECURSOS NECESSÁRIOS:**

Quadro branco, pincel, apagador e papel(avaliação).

**MATERIAL DE APOIO:**

Avaliação - Radiações ionizantes **(Apêndice D)**

### 3.2. ROTEIRO DE APLICAÇÃO

Roteiro – Sequência didática sobre Radiação Ionizante				
Aulas	Conteúdo	Atividade desenvolvida	Objetivos	Avaliação
Aula 1		Questionário para sondar o conhecimento prévio do aluno a respeito do tema: radiação ionizante (Apêndice A)	Avaliar as concepções alternativas dos alunos sobre o tema.	Participação e respostas dos alunos
Aula 2 e 3	1) Contexto Histórico do processo de construção do tema: de Wilhelm Conrad Röntgen (1895) até Rolf Maximilian Sievert (1937).  2) Conceito de radiação, radiação ionizante	1) Aula expositiva dialogada, com abordagem dos fatos históricos de radiação ionizantes, vídeos sobre os efeitos biológicos e definição dos conceitos de radiação, e radiação ionizante.  2) Análise e discussão do texto “o que é irradiação?” de Ary de Araujo Rodrigues Junior (Anexo A)	Reconhecer a Física como construção humana, cujo desenvolvimento esta atrelado a contextos cultural, social, político e econômico, definidos historicamente.	Aplicação de questionário, a respeito dos conceitos abordados nos vídeos. (Apêndice B) Participação dos alunos
Aula 4, 5 e 6.	1) Como é medida a radiação?  2) Medidas de proteção contra radiação.	Operacionalização matemática do conteúdo, quais os níveis toleráveis de exposição à radiação. Contexto histórico: desastre de Fukushima, medidas paliativas tomadas pelo governo japonês.	1) Discutir os efeitos biológicos da radiação e os impactos sociais e ambientais de desastres nucleares.  2) Utilizar instrumentos de cálculos matemáticos na solução de problemas envolvendo energia de ionização de um átomo.	Resolução de Situação - problema.  Participação dos alunos
Aulas 7 e 8	1) Benefícios da radiação ionizante;	1) Aula expositiva dialogada sobre os benefícios da radiação. Diagnóstico de Imagem, tratamento de câncer, esterilização de materiais médicos e aumento de durabilidade das frutas.	1) Discutir os efeitos biológicos da radiação seus benefícios sociais e ambientais.  2) Auxiliar na elaboração de juízos de valor dos alunos em relação ao uso da ciência e tecnologia e as suas consequências.	Produção textual dos alunos

Aula 9		Resolução de Situações – problemas presentes em exames vestibulares e ENEM. (Apêndice D)	Verificar a capacidade do aluno de síntese teórica e abstração matemática sobre radiação ionizante	Resolução de Situação - problema.
--------	--	--	--	-----------------------------------

**Quadro 02** – Roteiro de atividades da sequência didática

## REFERÊNCIAS

[Ausubel 2003] AUSUBEL, D.P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Tradução de Lígia Teopisto. Revisão técnica de Vitor Duarte Teodoro. Lisboa: Plátano Edições Técnica, 2003.

[Brasil 2002] BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA. **Parâmetros Curriculares Nacionais Mais– Ensino Médio- Física**. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica: Brasília (DF), 2002

[Campos 2009] CAMPOS, E.S. MENEZES, A.P.S. **Práticas Avaliativas no Ensino de Física na Amazônia**. Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 3, No. 3, Sept. 2009

[Gil 2002] GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

[Gómez 1996] GOMEZ, R. G. **Metodología de investigación Cualitativa**. 2. ed. Málaga: Aliibe, 1996.

[Halliday 2009] HALLIDAY, D.; **Fundamentos de física**, volume 4: óptica e física moderna. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

[Heneine 2006] HENEINE, I.F. **Biofísica Básica**. Colaboradores: José Pereira Daniel, Maria Conceição Santos Nascimento, Luiz Guilherme Dias Heneine. São Paulo: Atheneu, 2006.

[Leodoro 2010]. LEODORO, M.P.; BALKINS, M.A.A.S. **Problematizar e participar: elaboração do produto educacional no mestrado profissional de ensino**. II Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia. Art. 84, sp. UTFPR: outubro de 2010.

[Marconi 2013] MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados.** 7. ed. 7 reimpr. São Paulo: Atlas, 2013.

[Merçon 2004] MERÇON, F.; QUADRAT, F.V. **A radioatividade e a história do tempo presente.** Revista Química na escola nova. n 19, pg. 27 a 30, maio de 2004.

[Moreira, J. 2011] MOREIRA, J.V.A. **Radiobiologia – efeito das radiações ionizantes na célula – e formas de protecção das radiações ionizantes.** Dissertação (Mestrado). Universidade da Beira do Interior. Covilhã: Junho de 2011.

[Moreira 2011] MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

[Moreira 2006]. MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa: da visão clássica à visão crítica.** V Encontro Internacional sobre Aprendizagem significativa. Madrid, Espanha: 2006

[Moreira 2000] MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa crítica.** III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Lisboa: 2000.

[Moreira 1988] MOREIRA, M.A. **Mapas conceituais e Aprendizagem significativa.** Revista Galáico Portuguesa de Sócio-Pedagogia e Sociolinguística. n 23 a 28, pg. 87 a 95. 1988.

[Moriya 2008] MORIYA, T.; MÓDENA, J.L.P. **Assepsia e Antissepsia: técnicas de esterilização.** pg. 265 a 273, Medicina (Ribeirão Preto): 2008.

[Novak 1984] NOVAK, J.D. **Aprender a Aprender**. Tradução de Carla Valadares. Revisão Técnica de Jorge Valadares. Lisboa: Plátano Edições Técnica, 1984.

[Okuno 2010] OKUNO, E.; YOSHIMURA, E.M. **Física das Radiações**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

[Okuno 2007] OKUNO, E. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios**. São Paulo: Harbra, 2007.

[Okuno 1982] OKUNO, E; CALDAS, I.L.; CHOW, C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1982.

[Prestes 2008] PRESTES, M; CAPPELLETTO, E. **Aprendizagem significativa no ensino de física das radiações: contribuições da educação ambiental**. Rev. Eletrônica. Educ. Ambiental, v 20, pg. 180 a 194. FURG: janeiro a julho de 2008.

[Rego 2004] REGO, F. **A Física das Radiações no Ensino**. Universidade de Lisboa, 2004. Disponível em: <[http://www.lip.pt/~luis/teses/florbela\\_rego\\_tese.pdf](http://www.lip.pt/~luis/teses/florbela_rego_tese.pdf)>. Acessado em: 20/01/2014.

[Rodrigues Júnior 2007] RODRIGUES JÚNIOR, A.A. **O que é irradiação? E contaminação radioativa? Vamos esclarecer?**. Física na escola, v. 8, n 2, pg. 40 a 43, 2007.

[Santos 2003] SANTOS, A.F. *et al.* **Determinação da dose de radiação gama para reduzir a população de *Salmonella* spp em carne de frango**. Ciên. Technol. Aliment., pg 200 a 205. Campinas: maio a agosto de 2003.

[Serrano 1994] SERRANO, G. P. **Investigación Cualitativa**. Retos e Interrogantes. Madrid: La Muralla S.A., 1994.

[Silverman 2010] SILVERMAN, D. **Um livro bom, pequeno e acessível sobre pesquisa qualitativa**. Tradução Raul Rubenich. Porto Alegre: Bookman, 2010.

[Shinohara 2002] SHINOHARA, A. H.; ACIOLI, E.; KOURY, H.J. **Avaliação da técnica de radiografia digital em gamagrafia**. 6ª COTEQ, Conferência sobre Tecnologia e Alimentos. sp. Salvador, agosto de 2002.

[Souza 2009] SOUSA, W. B. **Física das radiações: uma proposta para o Ensino Médio**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Instituto de Física e Faculdade de Educação. São Paulo, 2009.

[Xavier 2007] XAVIER, A.M. *et al.* **Marcos da história da radioatividade e tendências atuais**. Revista Química Nova. Vol 30. No 1, pg 83 a 91, 2007.

[Zabala 1998] ZABALA, A. **A prática educativa**. Tradução: Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

# Apêndice A

## Questionário 1

1) Você já ouviu fala de radiação? Cite 2 exemplos.

---

---

---

---

---

2) Fale o que você imagina que seja radiação?

---

---

---

---

---

3) Fale algum processo na natureza ou tecnológico em que você acha que a radiação está presente? Cite 3 exemplos

---

---

---

---

---

4) O que você acha que é contaminação por radiação?

---

---

---

---

---

5) Você comeria uma fruta irradiada? Justifique.

---

---

---

---

---

## Apêndice B

### Questionário 2

FILME 1 (tratamento Tricho)

- 1) Quem descobriu os raios-X?

---

---

---

- 2) Por que a exposição exagerada ao raio-X é perigosa?

---

---

---

- 3) Qual era o objetivo do Doutor Geysler ao inventar o tubo de Cornell?

---

---

---

- 4) Por qual motivo o tratamento Tricho fez tanto sucesso entre as mulheres daquela época?

---

---

---

- 5) Quais os primeiros efeitos biológicos adversos que surgiram do tratamento Tricho?

---

---

---

- 6) Atualmente é possível usar raios-X em tratamentos dermatológicos de forma segura?

---

---

---

FILME 2( Acidente no Projeto Manhattan)

- 1) Por que classificamos o urânio como radioativo?

---

---

---

- 2) Em condições naturais o urânio é capaz de causar algum efeito biológico?

---

---

---

- 3) Explique o funcionamento do núcleo de uma bomba atômica, descrevendo o ponto crítico.

---

---

---

- 4) Durante a reação do ponto crítico, os cientistas foram expostos a que tipo de radiação?

---

---

---

## Apêndice C

### Exercícios Aula 06

1. Um técnico entrou em uma sala de irradiação e não percebeu que uma fonte de Cs – 137 estava exposta. Essa fonte estava com atividade de 300mCi. Converta essa unidade de atividade de radiação para o padrão no SI.
2. Durante todo tratamento contra o câncer, o tumor do paciente é exposto a 5000 rad. Sabendo que o limite máximo de exposição para o corpo todo é 4 Gy num intervalo de 30 dias, o paciente estaria seguro se a exposição do tratamento fosse para o corpo todo. Justifique
3. Considere uma fonte que produz um nível de radiação de 50mR/h a uma distancia de 25 cm da fonte. Calcule a distância da fonte no qual o nível de radiação é de 2 mR/h ?
4. Se a 12 metros de uma determinada fonte, a intensidade de radiação for de 45 mR/h. Calcule a distância quando a intensidade de radiação for de 5 mR/h ?
5. Observa-se que a intensidade de radiação de uma fonte é 0,025 mR/h quando a distância é de 3 metros. Qual será a intensidade quando a distância for de 5 metros?
6. 32 mR/h é a intensidade de radiação observada a 12 metros de distância de uma fonte. Calcule a radiação quando a distância for de 2 metros.
7. Determine a dose máxima para pessoas das seguintes idade:
  - e) 19 anos
  - f) 22 anos
  - g) 36 anos
  - h) 50 anos
8. No acidente de Fukushima, no Japão, um terremoto causou um maremoto e destruiu a blindagem superior de duas Usinas Nucleares. Sabendo que a blindagem é uma das maneiras para se proteger contra a radiação, comente sobre outras formas de proteção que o governo japonês poderia ter tomado.

## Apêndice D

### Avaliação Final - Aula 09

- 1) (UNIFESP-SP) Cientistas descobriram que a exposição das células humanas endoteliais à radiação dos telefones celulares pode afetar a rede de proteção do cérebro. As micro-ondas emitidas pelos celulares deflagram mudanças na estrutura da proteína dessas células, permitindo a entrada de toxinas no cérebro. (*Folha de S. Paulo, 25jul. 2002*).

As micro-ondas geradas pelos telefones celulares são ondas de mesma natureza que:

- O som, mas de menor frequência.
- A luz, mas de menor frequência.
- O som, e de mesma frequência.
- A luz, mas de maior frequência.
- O som, mas de maior frequência.

- 2) (UFPEL-RS) Em 1777, Sheele observou que amostras de cloreto de prata se decompunham com velocidades diferentes ao serem expostas isoladamente a cada uma das cores do arco-íris, segundo a reação:



Essa decomposição ocorria tanto mais rapidamente quanto maior a frequência da cor, estando associada ao espectro da radiação luminosa, visível ou invisível.

Espectro parcial das radiações eletromagnéticas		
Visibilidade	Onda	Frequência
Invisível	Infravermelho	$10^{12}$ a $10^{14}$ Hz
Visível	Vermelho	$4,00 \cdot 10^{14}$ a $4,84 \cdot 10^{14}$ Hz
Visível	Laranja	$4,84 \cdot 10^{14}$ a $5,08 \cdot 10^{14}$ Hz
Visível	Amarelo	$5,08 \cdot 10^{14}$ a $5,26 \cdot 10^{14}$ Hz
Visível	Verde	$5,26 \cdot 10^{14}$ a $5,66 \cdot 10^{14}$ Hz
Visível	Azul	$5,66 \cdot 10^{14}$ a $6,00 \cdot 10^{14}$ Hz
Visível	Anil	$6,00 \cdot 10^{14}$ a $6,67 \cdot 10^{14}$ Hz
Visível	Violeta	$6,67 \cdot 10^{14}$ a $7,50 \cdot 10^{14}$ Hz
Invisível	Ultravioleta	$7,50 \cdot 10^{14}$ a $1 \cdot 10^{16}$ Hz

Com base no enunciado e seus conhecimentos, é correto afirmar que a velocidade de redução da prata, na faixa do infravermelho:

- É maior do que na faixa do vermelho, decorrente da energia associada ao menor período de radiação daquela onda.
  - É menor do que na faixa do ultravioleta, devido à energia associada ao menor comprimento desta onda.
  - É menor do que na faixa do azul, em virtude da energia associada ao menor comprimento daquela onda.
  - É maior do que na faixa do verde, uma vez que apresenta menor energia associada ao comprimento desta onda.
  - É maior do que na faixa do violeta, por o maior período associado à radiação.
- 3) (UEL-PR) A irradiação para conserva dos produtos agrícolas, tais como batata, cebola e maçã, consiste em submeter esses alimentos a doses minuciosamente controladas de radiação ionizante.

- I. A energia da radiação incidente sobre um alimento pode atravessá-lo, retirando elétrons do átomo e das moléculas que a constituem.
- II. As micro-ondas e os raios infravermelhos e ultravioletas são exemplos de radiação ionizantes.
- III. As fontes radioativas utilizadas na conservação de alimentos são de mesma natureza das utilizadas na radioterapia.
- IV. Por impregnar os alimentos, o uso de radiação ionizante causa sérios danos à saúde do consumidor.

Indique a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e II são corretas.
  - b) Somente as afirmativas I e III são corretas.
  - c) Somente as afirmativas III e IV são corretas.
  - d) Somente as afirmativas I, II e IV são corretas.
  - e) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.
- 4) <sup>19</sup>(ENEM - 2009) Considere um equipamento capaz de emitir radiação eletromagnética com comprimento de onda bem menor que a da radiação ultravioleta. Suponha que a radiação emitida por esse equipamento foi apontada para um tipo específico de filme fotográfico e entre o equipamento e o filme foi posicionado o pescoço de um indivíduo. Quanto mais exposto à radiação, mais escuro se torna o filme após a revelação. Após acionar o equipamento e revelar o filme, evidenciou-se a imagem mostrada na figura abaixo.



Dentre os fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e os átomos do indivíduo que permitem a obtenção desta imagem inclui-se a:

- a) absorção da radiação eletromagnética e a conseqüente ionização dos átomos de cálcio, que se transformam em átomos de fósforo.
- b) maior absorção da radiação eletromagnética pelos átomos de cálcio que por outros tipos de átomos.
- c) maior absorção da radiação eletromagnética pelos átomos de carbono que por átomos de cálcio.
- d) maior refração ao atravessar os átomos de carbono que os átomos de cálcio.
- e) maior ionização de moléculas de água que de átomos de carbono.

- 5) (ENEM-2005) Um problema ainda não resolvido da geração nuclear de eletricidade é a destinação dos rejeitos radiativos, o chamado —lixo

<sup>19</sup> Figura extraída do caderno de prova disponível no site do ENEM.

atômico. Os rejeitos mais ativos ficam por um período em piscinas de aço inoxidável nas próprias usinas antes de ser, como os demais rejeitos, acondicionados em tambores que são dispostos em áreas cercadas ou encerrados em depósitos subterrâneos secos, como antigas minas de sal. A complexidade do problema do lixo atômico, comparativamente a outros lixos com substâncias tóxicas, se deve ao fato de:

- a) emitir radiações nocivas, por milhares de anos, em um processo que não tem como ser interrompido artificialmente.
- b) acumular-se em quantidades bem maiores do que o lixo industrial convencional, faltando assim locais para reunir tanto material.
- c) ser constituído de materiais orgânicos que podem contaminar muitas espécies vivas, incluindo os próprios seres humanos.
- d) exalar continuamente gases venenosos, que tornariam o ar irrespirável por milhares de anos.
- e) emitir radiações e gases que podem destruir a camada de ozônio e agravar o efeito estufa.

## Apêndice E

### Apresentação de slides da aula 02<sup>20</sup>



### Objetivo da Aula 2

- Reconhecer a Física da Radiação como construção humana, cujo desenvolvimento esta atrelado a contextos cultural, social, político e econômico, definidos historicamente.

<sup>20</sup> Todas as figuras aqui apresentadas estão disponíveis na internet

**Radiação:**

- Ondas eletromagnéticas ou partículas que se propagam com alta velocidade.

O diagrama ilustra o espectro de energia, dividido em radiação ionizante e não ionizante. A radiação ionizante inclui Raios Cósmicos, Raios Gama, Raios X e Raios Ultravioleta. A radiação não ionizante inclui Luz Visível, Raios Infravermelhos, Micro ondas e Rádio. O eixo horizontal indica a frequência, variando de Alta Frequência à esquerda para Baixa Frequência à direita.

**Radiações Ionizantes**

- As radiações são denominadas de ionizantes quando produzem íons, radicais e elétrons livres na matéria que sofreu a interação.
- A ionização se deve ao fato das radiações possuírem energia alta, o suficiente para quebrar as ligações químicas ou expulsar elétrons dos átomos após colisões.

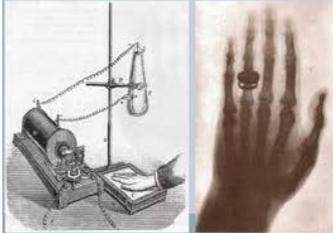
## Radiações Ionizantes

**Sob o ponto de vista dos sentidos humanos, as radiações ionizantes são:**

- invisíveis,
- inodoras,
- inaudíveis,
- insípidas e,
- indolores.

## Histórico das Radiações Ionizantes

- **1895**
- **Wilhelm Conrad Röntgen**
- **Descobriu os Raios X com raios catódicos**



## Histórico das Radiações Ionizantes



- 1895
- Antoine Henri Becquerel
- Constatou que um sal de urânio produzia manchas numa chapa fotográfica, mesmo no escuro e embrulhado em papel negro.



## Histórico das Radiações Ionizantes



- 1898
- Marie Curie e Pierre Curie



- Descoberta do Rádio e Polônio
- Termo radioatividade

## Histórico das Radiações Ionizantes

- 1898
- **Ernest Rutherford**
- **Descoberta das partículas  $\alpha$  e  $\beta$**



## Histórico das Radiações Ionizantes

- 1898
- **Paul Ulrich Villard**
- **Descoberta dos raios  $\gamma$ , partícula que não era desviada.**



## Histórico das Radiações Ionizantes

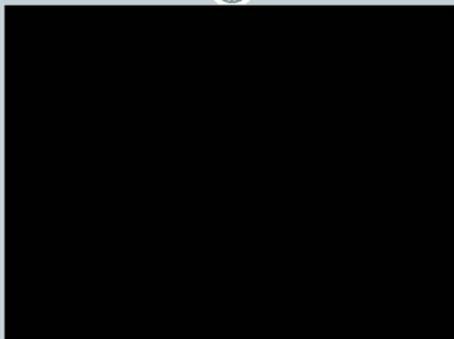
- **1912**
- **Victor Francis Hess**
- **Descobriu os raios cósmicos e o que influencia em sua intensidade.**



## Tratamento Tricho



## Projeto Manhattan



## Apêndice F

### Apresentação de slides da aula 04 e 05<sup>21</sup>



<sup>21</sup> Todas as figuras aqui apresentadas estão disponíveis na internet

#### UNIDADES DE MEDIDA DA RADIAÇÃO

- Com o objetivo de efetuar uma análise quantitativa das radiações ionizantes, temos que definir unidades para os parâmetros que necessitamos quantificar. As unidades principais, usadas na avaliação deste risco são as seguintes:

#### CURIE (Ci) E A ATUAL BEQUEREL (Bq):

- É a unidade de atividade de uma **fonte radioativa**. Define o número de transformações nucleares que ocorrem no elemento radioativo na unidade de tempo.

MARIE CURIE (Ci)



Descobriu e introduziu o termo Radioatividade – 1903. (Nobel de Física)



HENRY BEQUEREL (Bq):



Dividiu o Nobel com Marie Curie e Pierre Curie de Física em 1903.



ROENTGEN (R) E A ATUAL COULOMB / KILOGRAMA (C/KG):

- É a unidade que define exposição. É baseada em sua capacidade de **produzir ionização no ar.**

WILHELM CONRAD RÖNTGEN (R)



Em 1895 descobriu a existência dos raios X.

RAD (RADIATION ABSORBED DOSE) E A ATUAL GRAY (GY):

- É a unidade de dose absorvida. Utilizada para **objetos** (matéria prima), define a quantidade de energia absorvida por unidade de massa.

LOUIS HAROLD GRAY(GY)



Trabalhou principalmente com investigações dos efeitos da radiação em sistemas biológicos, originando o campo da radiobiologia.

*L. H. Gray*

REM (ROENTGEN EQUIVALENT MAN) E A ATUAL SIEVERT (Sv):

- É a unidade de dose equivalente, que considera o **efeito biológico** da radiação absorvida pelo organismo vivo.

DOSE MÁXIMA PARA POPULAÇÃO

- A dose máxima permitida para o corpo inteiro é de 0,05 Sv em qualquer período de 12 meses. Em nenhum caso a dose total acumulada pode exceder a dose máxima expressa pela fórmula abaixo:
  - $D = 0,05 (N - 18)$
- Onde N é a idade da Pessoa.

EXEMPLO

- Qual será a exposição máxima de uma pessoa de 32 anos por ano?
  - $D = 0,05 (N - 18)$
  - $D = 0,05 (32 - 18)$
  - $D = 0,05 \times 14$
  - $D = 0,70 \text{ Sv}$

ROLF MAXIMILIAN SIEVERT



Trabalhou na dosimetria da radiação, principalmente na radiologia diagnóstica e radioterapia. Ajudou a fundar a International Radiation Protection Association (IRPA)

### CONVERSÃO DE UNIDADES EQUIVALENTES

Grandezas	Unidade no SI	Unidade Original	Conversão
Atividade	Bq = s <sup>-1</sup>	Ci	1 Ci = 3,7x10 <sup>10</sup> Bq
Exposição	Gy(J/kg)	rad	1 Gy = 100 rad
Dose Absorvida	C/kg	R(RÖENTGEN)	1 R = 2,58x10 <sup>-4</sup> C/kg
Dose Equivalente	Sv	Rem	1 Sv = 100 Rem

AULA 05

# Medidas de Proteção contra Radiação

## MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÃO

- Nenhuma fonte de radiação é tão poderosa a ponto de não permitir que a adoção de algumas medidas de controle não elimine seus riscos. A aplicação correta dos princípios de prevenção e controle manterá qualquer exposição abaixo dos níveis estabelecidos. As formas de controle fundamentam-se em três fatores principais:
  - Distância;
  - Tempo de exposição;
  - Blindagem.

## Decaimento da radiação com a distância

## DISTÂNCIA

- Quanto **maior** a distância de uma fonte de radiação, menor será a exposição recebida.
- Nesse caso, podemos aplicar a “Lei do inverso do quadrado”, que é a intensidade de radiação é inversamente proporcional ao quadrado da distância, considerada a partir da fonte, conforme a equação abaixo:

## DISTÂNCIA

- $I_1 \cdot D_1^2 = I_2 \cdot D_2^2$ , onde:
- $I_1$  = Intensidade 1 de radiação a uma distância da fonte
- $I_2$  = Intensidade 2 de radiação a uma distância da fonte
- $D_1$  = Distância 1 da fonte a uma intensidade de radiação
- $D_2$  = Distância 2 da fonte a uma intensidade de radiação

EXEMPLO:

- Uma certa fonte radioativa produz um nível de radiação de 420 mR/h a 3 metros de distância. Calcule o nível de radiação a 6 metros desta fonte
- Solução
- $I_1 \cdot D_1^2 = I_2 \cdot D_2^2$
- Dados  $I_1 = 420 \text{ mR/h}$  ,  $D_1 = 3\text{m}$ ,  
 $D_2 = 6\text{m}$   
 $I_2 = ?$

SOLUÇÃO

- $I_1 \cdot D_1^2 = I_2 \cdot D_2^2$
- $420 \cdot (3)^2 = I_2 \cdot (6)^2$
- $\frac{420 \cdot (3)^2}{(6)^2} = I_2$
- $\frac{420 \cdot 9}{36} = I_2$
- $I_2 = \frac{3728}{36}$
- $I_2 = 105 \text{ mR/h}$
- Conclusão: Quando nos afastamos da fonte a intensidade de radiação diminui, de 420 para 105 mR/h a 6 metros.

# Tempo de Exposição

## TEMPO DE EXPOSIÇÃO

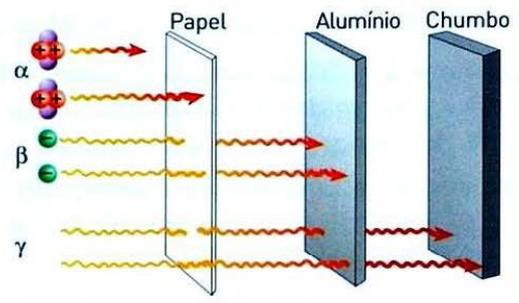
- O método de reduzir a exposição da radiação, na qual é mais simples de entender e empregar é o tempo.
- Quanto menor o tempo numa área de radiação, resultara em menor exposição recebida. Todos os recursos deverão ser empregados para reduzir o tempo gasto na área de radiação – Menor tempo. Menos exposição.

# Blindagem

## BLINDAGEM

- Está medida baseia-se no uso de barreiras adequadas constituídas de materiais que tenham a capacidade de absorver radiações ionizantes.
- A quantidade de radiação absorvida dependerá do tipo de energia da radiação e da espessura da barreira utilizada
- Na prática é muito comum o uso de chumbo ou concreto, pois constituem barreiras bastantes eficazes contra radiação ionizante.

ALGUMAS BLINDAGENS



## Apêndice G

### Apresentação de slides da aula 07 e 08<sup>22</sup>



Radiações Ionizantes

### Radiação: uma necessidade

- Quando bem utilizada, a radiação é algo positivo
- Seu uso exige profissionais que **saibam** lidar com esse tipo de material radioativo, para evitar efeitos adversos as pessoas que **necessitam** desse mecanismo em:
- **Diagnóstico e Tratamentos de doenças, etc.**

<sup>22</sup> Todas as figuras aqui apresentadas estão disponíveis na internet

### Radiação: uma necessidade

- o Com os avanços tecnológicos obtidos nos últimos anos, o uso da radiação não só se tornou **seguro** quanto **justificável** e extremamente **necessário** em muitos casos.



### Uso da Radiação na Área da Saúde

## Radiografia



## Radiografia

- A radiografia é uma imagem obtida, por um feixe de **raios X** ou raios gama que atravessa a região de estudo e interage com uma emulsão fotográfica ou tela fluorescente.
- Existe uma grande variedade de tipos, tamanhos e técnicas radiográficas.

### Radiações Ionizantes



Em uma de suas experiências, Röntgen colocou a mão de sua mulher, Bertha, na frente do filme e obteve a primeira radiografia da história, mostrando os ossos de Dona Bertha e até seu anel de casamento.

### Radiações Ionizantes

#### Radiografia

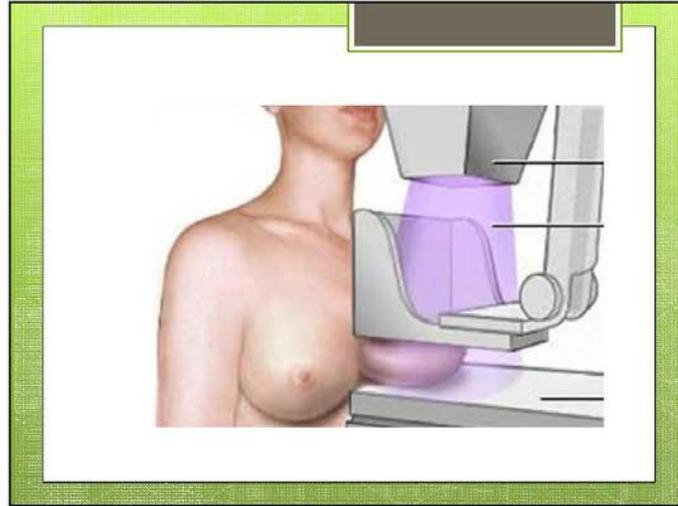
- o As doses absorvidas de radiação dependem do tipo de radiografia.
- o Como existe a acumulação da radiação ionizante não se devem tirar radiografias sem **necessidade** e, principalmente, com equipamentos fora dos padrões de operação

## Radiografia



## Mamografia

- A mamografia é também um exame de raio-x que serve para visualizar a região interna das mamas, que deve ser realizado em todas as mulheres com idade igual ou superior a 40 anos. Auxiliando na prevenção e na redução de mortes por câncer de mama.



## Radioterapia

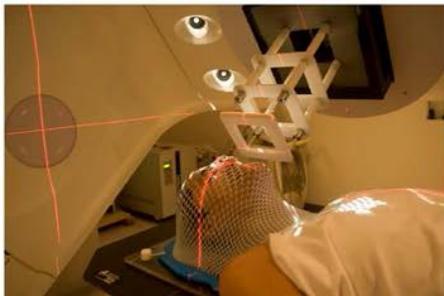
- o A **radioterapia** é uma especialidade médica focada no tratamento oncológico que utiliza **radiações ionizantes** para atingir determinadas células, impedindo seu aumento ou causando sua destruição
- o **não causa danos às células sadias** pelo fato de sua capacidade de reconstrução.

## Radioterapia

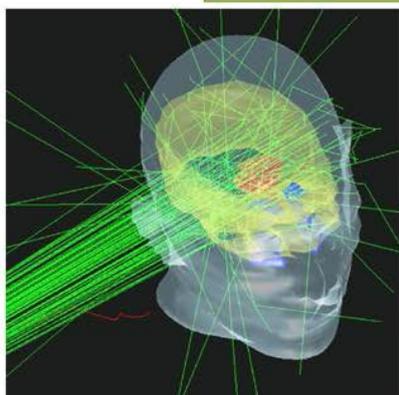
- o **Efeitos colaterais** da radioterapia dependem tanto da **dose** utilizada quanto da região tratada.
- o Com os avanços tecnológicos obtidos nos últimos anos, a **radioterapia se tornou muito menos tóxica e mais efetiva.**

Radiações Ionizantes

**Radioterapia traz tecnologia para dar segurança aos pacientes**



Radiações Ionizantes



### Braquiterapia

- o É uma forma de radioterapia em que materiais radioativos são implantados nas proximidades do tumor.
- o Essa proximidade permite que altas doses de radiação sejam liberadas para atacar o tumor. A radiação fica restrita à região, não afetando órgãos mais distantes.

### Braquiterapia



### Radioisótopos

- Os radioisótopos também são empregados com o propósito de diagnóstico, fornecendo informações sobre o tipo ou extensão da doença
- O isótopo iodo, por exemplo, é usado para determinar o tamanho, forma e atividade da glândula tireoide. O paciente bebe uma solução de KI (iodeto de potássio), incorporando iodo.
- O corpo concentra o iodo na tireoide. Após algum tempo, um detector de radiação varre a região da glândula e a informação é exibida, no computador, sob a forma visual.

### EXEMPLOS DE IMAGENS



## Radiações Ionizantes

### Aplicações dos radioisótopos

Medicina



Auxílio nas  
diagnoses



Tratamento de  
doenças



Terapêutica  
radioativa

### Outras aplicações da radiação

o uso da  
radioatividade **não se**  
**restringe** apenas ao  
campo médico.



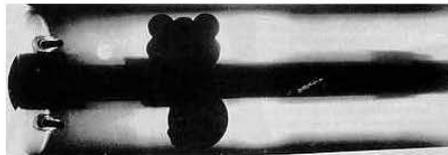
### Uso da Radiação na indústria

### Uso da Radiação na indústria

- Radiografia de peças metálicas ou gamagrafia industrial
- Detecção de vazamentos
- Falhas de lâminas e pneus
- Em linhas de produção
- ESTERILIZAÇÃO E REDUÇÃO DE CARGA MICROBIANA

### Uso da Radiação na indústria

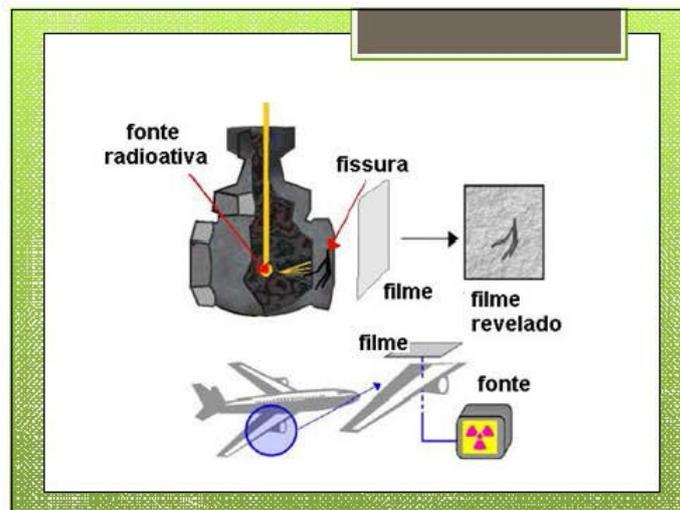
- o A radiação gama, é utilizada na indústria para verificar se há defeitos ou rachaduras no corpo de peças de metal.



Radiografia tirada por Röntgen de seu rifle de caça. Observe que há um pequeno defeito no cano. Com essa foto, Röntgen antecipou o uso industrial dos Raios-X como controle de qualidade de peças.

### Radiografia de peças metálicas ou gamagrafia industrial:

- As empresas aéreas realizam a gamagrafia das partes metálicas e das soldas essenciais dos aviões, que são sujeitas a mais esforços, como asas e turbinas.
- Com isso, é possível inspecionar os aviões e verificar se há **fadiga** em alguma de suas partes.



## Detecção de vazamentos:



## Esterilização

- Como as radiações gama **ultrapassam** os materiais menos densos, estes podem ser utilizados para esterilizar materiais **cirúrgicos e alimentos**.
- O objetivo é a **REDUÇÃO DE CARGA MICROBIANA**

### Esterilização de materiais cirúrgicos

- Esse processo é utilizado principalmente pela indústria farmacêutica, pois alguns **materiais descartáveis** (como seringas, gazes e luvas cirúrgicas) não suportam altas temperaturas.
- Assim, esses produtos são esterilizados “a frio” com fontes radioativas.

### Esterilização de materiais cirúrgicos





A radiação gama passa pelos materiais e **não fica neles.**

Radiações Ionizantes



Uso da Radiação na  
agricultura

## CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

- A radiação é utilizada para:
- Evitar que raízes ou tubérculos **brotem** durante o armazenamento (como é o caso de cebolas e batatas)
- **Eliminar insetos** dos grãos antes do armazenamento, ou ainda para preservar alimentos, inibindo ou destruindo as bactérias e outros microrganismos.
- Retarda a maturação.





### Efeitos da radiação nos alimentos

- o A radiação atuando sobre as substâncias alimentícias vai ionizar alguns átomos e alterar a estrutura de moléculas vitais, provocando a **morte de bactérias** e microrganismos.

### Alguns alimentos tratados com radiação

- o Alguns alimentos trazem em sua embalagem a seguinte inscrição:
  - o **\*ALIMENTO TRATADO POR PROCESSO DE IRRADIAÇÃO**

## Alguns alimentos tratados com radiação





## Indicação de Irradiação

**Indicação de Irradiação**

A grande evolução das massas surgiu no Japão em 1958, quando o Sr. Momotoku Ando inventou o macarrão instantâneo. Hoje, a Nissin tornou-se pioneira mundial na fabricação deste produto. No Brasil, presente há 40 anos, o mar-a-mar instantâneo é exclusivamente comercializado com a marca "Nissin" que se tornou sinônimo de produto "fito". A Nissin mantém a tradição de oferecer produtos de qualidade e busca constantemente novas alternativas que facilitem a vida do consumidor brasileiro.

**Conservação:** Manter em ambiente seco, fresco, livre de odores penetrantes, insetos e roedores.

**Ingredientes da massa:** Farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico (mínimo 60%), gordura vegetal, bicarbonato de sódio (máximo 16,0%), sal, reguladores de acidez: carbonato de potássio e carbonato de cálcio, estabilizantes: tripolifosfato de sódio, pirofosfato tripotássico e ácido de sódio monobásico e corante beta-caroteno.

**Ingredientes do tempero em pó:** Farinha de milho, sal, açúcar, preparado condimentado sabor queijo suíço, condimento preparado queijo, composto lácteo, almidão, almidão sabor queijo parmesão, condimento preparado sabor queijo, amido modificado, queijo em pó sabor original, preparado condimentado sabor queijo, condimento preparado sabor queijo disperso em sal, condimento à base de tomate e levedura e sal, sal em pó, nec-necessário em pó, condimento preparado "parmesão", gordura vegetal, realçadores de sabor: glutamato monossódico, ácido succínico e guaiato dissolvido e guaiato dissolvido, aromatizante à base de salicilato de sódio, "MALTODEXTRIN", GLÚTEN.

**Pode conter traços de leite, ovo, soja, carneiro, peixe, crustáceos e grãos.**

**VÁLIDO ATÉ / LOTE:**

## IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS



### DOSE BAIXA (até 20 min)

Inibição de brotamento, atraso na maturação de alimentos, desinfestação de insetos e inativação de parasitas. Indicada para legumes, cereais e grãos, frutas frescas e secas, carne seca e de porco



### DOSE MÉDIA (até 2 h)

Redução do número ou eliminação de micro-organismos que não formem esporos. Indicada para peixe fresco, frutas picadas, frutos do mar frescos e congelados, aves e carne vermelha frescas e congeladas, suco de uva e legumes desidratados



### DOSE ALTA (até 8 horas)

Redução do número de micro-organismos até a esterilização total. Indicada para carnes, aves, frutos do mar, alimentos prontos e especiarias

## Referências Bibliográficas

RADIOATIVIDADE E SUAS INTERFACES. Disponível em: <<http://radioatividade3e.blogspot.com.br/2013/04/uso-da-radiacao-na-area-da-saude.html>>. Acesso em: 16 jan. 2014.

TAUHATA, L.; SALATI, I. P. A.; DI PRINZIO, R.; DI PRINZIO, A. R. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos. 5 revisão. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2003. 242 p.

## Anexo A

# Artigo o que é irradiação? O que é contaminação? Vamos esclarecer?



.....  
**Ary de Araújo Rodrigues Júnior**  
Laboratório de Física Nuclear Aplicada,  
Departamento de Física, Universidade  
Estadual de Londrina  
E-mail: aryarj@ig.com.br  
.....

**Q**uando há um acidente com material radioativo ouvimos do apresentador do noticiário expressões do seguinte tipo: “a área está extremamente radioativa” ou “a região está com altos níveis de radiação” e outras expressões que nem o público nem o locutor e, provavelmente, nem o redator do texto têm a mínima noção do que significam, pois elas, de fato, são desprovidas de significado; são expressões totalmente vagas.

O que realmente ocorre quando há um acidente com material radioativo? Apenas dois eventos: o material radioativo irradiará ou contaminará o meio ambiente. O que acontece para ocorrer tais eventos e o que vem a ser uma irradiação ou uma contaminação radioativa?

Em geral, o material radioativo possui duas embalagens: o recipiente interno que o contém e o recipiente externo, que é uma blindagem. A função da blindagem é atenuar a radiação emitida por esse material. Portanto, se o recipiente externo romper em decorrência de um acidente, a radiação não será mais atenuada e os objetos e os seres vivos que estiverem nas proximidades estarão expostos à radiação emitida pelo material.

Então, irradiação é a energia característica emitida por uma fonte radioativa. O objeto ou ser vivo que recebe esta energia está sendo irradiado. No caso em questão, a fonte emissora de energia é um material radioativo e a energia emitida é a radiação. Mas no nosso cotidiano há vários exemplos de outras situações de emissão de radiação, como por exemplo o calor de uma fogueira, a luz de um poste ou uma fonte sonora, como a buzina de um carro. E todas elas diminuem de intensi-

dade com o quadrado da distância, ou seja, se estivermos a uma certa distância destas fontes, por exemplo a um metro, e nos afastarmos o dobro desta distância, dois metros, a intensidade da energia que chega até nós diminuirá quatro vezes, e não pela metade, como poderíamos esperar intuitivamente. Se nos afastarmos o triplo da distância, a intensidade diminuirá nove vezes; se nos afastarmos o quádruplo da distância, a intensidade diminuirá 16 vezes e assim por diante. Ou seja, a intensidade da energia diminuirá

**O que realmente ocorre quando há um acidente com material radioativo? Será que quem recebeu radiação passa a espalhá-la por onde passar? É claro que não! Não há como estocar qualquer tipo de radiação, seja ela proveniente de materiais radioativos ou não**

com o quadrado da distância, obedecendo a expressão

$$I = \frac{I_m}{d^2}$$

onde  $I$  é a intensidade da energia a uma distância qualquer,  $I_m$  é a intensidade da energia emitida a uma distância de 1 m e  $d$  a distância entre a fonte emissora e o receptor. Visualizando esta expressão em um gráfico, obtemos a curva mostrada pela Fig. 1.

Claro que o contrário também é verdadeiro, ou seja, se caminharmos em direção a fonte, a intensidade crescerá com o

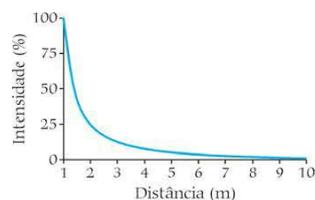


Figura 1. Intensidade da energia emitida por uma fonte em função da distância.

Em todas as áreas da atividade humana ocorrem acidentes; batidas de veículos, descarrilamentos de trens, vazamentos de produtos químicos, queda de aviões, incêndios, etc., aos quais dispensamos maior ou menor atenção dependendo da gravidade. Mas os que ocorrem com materiais radioativos, independente do grau (desde o vazamento de uma usina nuclear até o extravio de um radiofármaco de vida curta) tem o poder de provocar um alto nível de preocupação na população. Isto ocorre por causa dos mitos sobre a radiação que permeiam o imaginário popular e são amplificados pela mídia, e que neste artigo tentaremos elucidar.

quadrado da distância. Isto significa que no caso de um acidente com material radioativo, onde há apenas irradiação, a forma adotada de proteção da população local pelas autoridades competentes é isolar uma área em torno do material radioativo a uma distância cujo raio seja grande o suficiente para garantir que fora dessa área o nível de irradiação seja insignificante.

Este comportamento aplica-se a fontes que emitem radiação eletromagnética, como a radiação gama, representada pela letra grega  $\gamma$ , emitida por vários tipos de materiais radioativos. A radiação  $\gamma$  é uma onda eletromagnética como o são, por exemplo, as ondas de rádio, TV, microondas e a luz visível; a diferença está no fato de sua energia (e, conseqüentemente, a sua frequência) ser muito maior, como pode ser visto na Fig. 2. Além da radiação eletromagnética  $\gamma$ , os materiais radioativos também emitem radiação em forma de partículas, como a radiação  $\alpha$  (alfa) e a radiação  $\beta$  (beta), mas estas radiações têm um alcance muito menor do que a radiação  $\gamma$ . A radiação  $\alpha$  não consegue penetrar na pele humana, portanto materiais que emitem somente este tipo de radiação não oferecem perigo em caso de uma exposição, mas podem oferecer se forem ingeridos ou inalados. A radiação  $\beta$  tem um poder de penetração maior do que o da radiação  $\alpha$ , entrando alguns milímetros na pele, o que pode acarretar o aparecimento de câncer de pele e sérios problemas aos olhos, mas esta radiação não consegue atravessar alguns milímetros de alumínio ou o tecido das roupas que vestimos normalmente.

Mas será que um objeto ou um ser vivo que esteve próximo ao material radioativo e foi irradiado fica com um pouco de radiação dentro dele e vai liberando essa radiação aos poucos? A resposta é não, pois não há como estocar qualquer tipo de radiação, seja ela proveniente de materiais radioativos ou não. Por exemplo, quando você desliga a luz da sala, quanto tempo ela leva para ficar escura? Ela vai ficando escura aos poucos ou imediatamente? A resposta é imediatamente. Você consegue guardar luz dentro de um saco de papel? Ou ondas de rádio e TV (para ouvir ou ver um programa mais tarde)? A resposta é não. Analogamente, ao se afastar da luz emitida por um poste você estará sendo cada vez menos iluminado e o fato de ter sido iluminado não fará você emitir luz.

A radiação  $\gamma$  emitida por materiais radioativos difere das outras formas de radiação eletromagnética citadas devido a esta apresentar maior energia, mas, como

os outros tipos de radiação, não é possível armazená-la. Esta alta energia (acima da frequência da luz ultravioleta, inclusive) emitida pelos materiais radioativos é suficiente para quebrar as

ligações químicas entre os átomos que formam as moléculas. Estas ligações são estabelecidas pelo compartilhamento dos elétrons presentes nas coroas eletrosféricas dos átomos que compõem a molécula. O que a radiação com alta energia faz é expurgar os elétrons das coroas eletrosféricas e deste modo inviabilizar a ligação entre os átomos. Este fenômeno recebe o nome de ionização, e as radiações

com energia suficiente para produzi-la são chamadas de ionizantes. A luz visível, as ondas de rádio e TV e as microondas, por exemplo, também são tipos de radiação,

mas não são ionizantes.

Esta quebra das ligações químicas pode acarretar a desativação da molécula afetada, ou seja, ela não consegue desempenhar mais a sua função, ou pode acarretar a formação de novas moléculas. Se estes fenômenos ocorrerem dentro de uma célula, que é a unidade básica da vida, ela tem mecanismos internos de reparo destes danos provocados pela radiação ionizante. Se os danos

**A radiação  $\alpha$  não consegue penetrar na pele humana, portanto só oferece perigo se um material contaminado for ingerido ou inalado. Já a radiação  $\beta$  tem um poder de penetração maior, entrando alguns milímetros na pele, o que pode acarretar o aparecimento de câncer de pele e sérios problemas aos olhos**

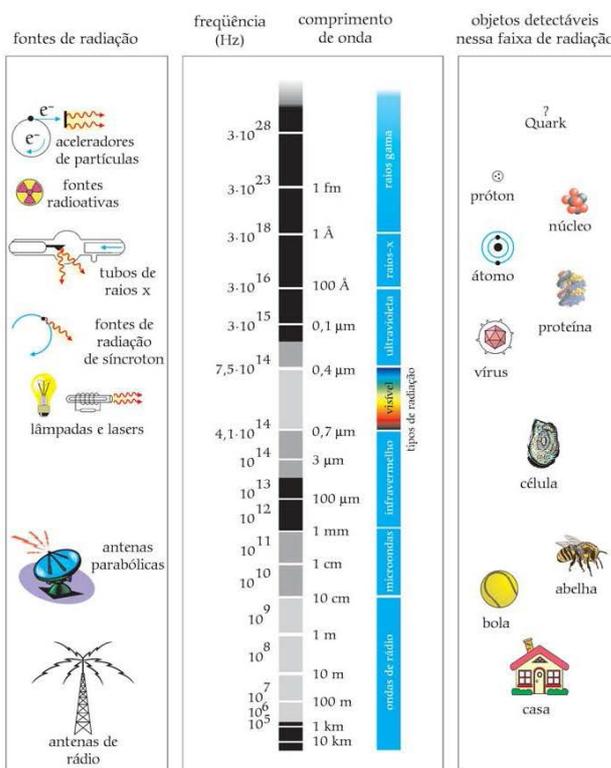


Figura 2. Espectro das radiações eletromagnéticas (FnE, v. 1, n. 1).

forem muito extensas, a célula pode não ser capaz de se reparar adequadamente, o que pode levá-la à morte ou a mudar as suas funções e ser o início de uma doença degenerativa como o câncer, caso o organismo como um todo não consiga eliminá-la.

Portanto, um corpo está sendo irradiado e sofrendo os efeitos causados pela radiação enquanto ele estiver exposto a uma fonte. Ao se afastar dessa fonte ele estará recebendo cada vez menos radiação e diminuindo os seus efeitos, até chegar a uma distância segura, onde o nível de radiação recebido pode ser considerado desprezível.

Concluindo: a irradiação não torna objetos ou seres vivos radioativos ou portadores de radiação; portanto, depois da exposição, podemos tocá-los ou manuseá-los sem receio.

Não se está considerando nesta conclusão a ativação por processos de irradiação, o que somente é possível em condições de laboratório. Neste processo, elementos químicos tornam-se significativamente radiativos após serem submetidos a altas intensidades de radiação ionizante com altas energias por longos períodos de tempo.

Se além do recipiente externo, que é a blindagem, o recipiente interno também se romper, o material radioativo poderá vazar para o meio ambiente e ocasionar uma contaminação radioativa. Então dizemos que ocorre a contaminação radioativa quando um objeto ou um ser vivo se impregna com o material radioativo que vazou para o meio ambiente devido à ocorrência de um acidente. Deste modo, ele contém material radioativo em sua estrutura e carregará este material para onde quer que vá. Ou seja, ele conterá uma fonte radioativa, que o estará irradiando assim como tudo e todos por onde quer que ele passe. Claro que esta irradiação também decresce com o quadrado da distância.

Outra dúvida muito comum: no caso da contaminação radioativa, um objeto ou ser vivo impregnado com material radioativo, não fica todo ele radioativo depois de algum tempo? A palavra 'contaminação' significa que um objeto ou um ser contém algo; assim ela é usada em medicina para indicar que uma pessoa contém algo indesejável em seu organismo (por exemplo metais pesados como o chumbo ou microorganismos que provocam

doenças, como hepatite, AIDS ou doença de Chagas). A contaminação por microorganismos é o conceito mais conhecido pela população e a partir dele ela deduz que a contaminação radioativa também poderia proliferar no organismo, passar para outros seres vivos e provocar uma epidemia. Não é isto o que acontece.

Os materiais radioativos não são seres vivos e, portanto, não têm como se reproduzir e causar uma epidemia. Pes-

soas que se contaminam com material radioativo ou com metais pesados (como mercúrio ou chumbo) devem procurar ajuda médica especializada para se livrarem da mesma. Se for uma contaminação externa, as roupas que estavam sendo usadas no momento da contaminação serão retiradas e separadas, e a pessoa deverá tomar um banho de água corrente para retirar o restante da contaminação.

Se houver contaminação interna, o caso é um pouco mais complicado. Dependendo do nível de contaminação, além do acompanhamento médico, a pessoa deverá ficar internada para receber tratamento adequado, que vise estimular a saída mais rápida da contaminação pelas fezes e pela urina, e assim reduzi-la a níveis desprezíveis. Deve-se então coletar e guardar os excrementos (e deste modo não contaminar o meio ambiente), administrar medicação adequada, que reduza os efeitos da radiação ionizante no organismo e não irradiar outras pessoas. O importante a notar é que a contaminação tende a diminuir, contanto que não se volte a ter contato direto com o material radioativo.

Uma pessoa contaminada externamente pode contaminar outras pessoas direta ou indiretamente. Diretamente, por exemplo, se suas mãos estiverem impregnadas; a cada aperto de mão ela passará um pouco de material radioativo para a mão da outra pessoa. Indiretamente, por exemplo, se suas roupas estiverem contaminadas; ao sentar em um banco ela deixará um pouco de material radioativo, que impregnará a roupa de uma ou mais pessoas que se sentarão naquele local. O importante a notar é que o mecanismo de transmissão da contaminação radioativa é o mesmo da que costumamos chamar, genericamente, de sujeira! E que conforme a contaminação

vai se espalhando ela também e vai se diluindo no ambiente, e não aumentando como no caso de uma epidemia causada por microorganismos.

Concluindo: a contaminação radioativa não se multiplica com o tempo, aumentando a sua quantidade em um objeto ou ser vivo contami-

nados. Qual é o nível de redução que pode ser considerado desprezível para uma irradiação ou para uma contaminação radio-

ativa proveniente de um acidente? Primeiro, qual é a resposta a esta questão: Cristóvão Colombo descobriu ou inventou a América? Pode parecer estranho uma pergunta de história em um texto de física nuclear, mas ela tem relevância. A resposta é: ele descobriu a América, portanto ela já existia independente de Colombo ou de qualquer outro navegador a encontrar ou não (se ele tivesse inventado a América, ele teria chegado em algum ponto do Atlântico, pego uma pá, retirado a terra do fundo do oceano e construído todo o continente americano!). E a radiação? Ela foi descoberta ou foi inventada? A radiação também foi descoberta, ou seja, ela já existia (e continua existindo) na natureza.

Essa radiação natural tem várias componentes e origens; ela vem do espaço (raios cósmicos), está presente na forma de átomos radioativos (os radionuclídeos), no ar que respiramos (por exemplo o carbono-14), na nossa comida (do potássio presente nos alimentos, como o leite, o feijão, a batata e a banana; 0,0118% é de potássio-40, que é radioativo), na água (gás radônio), na crosta terrestre e nos materiais que usamos para construir nossas moradias (urânio, tório e gás radônio). Portanto, independente da profissão ou da localização onde vive, todo ser humano recebe uma certa quantidade de radiação, tanto interna quanto externamente, que é chamada "radiação de fundo" e esta varia de acordo com a localização geográfica e com a altitude. Existem lugares na crosta terrestre onde há maiores concentrações de materiais radioativos do que em outras, e quanto maior a altitude, maior a contribuição da radiação cósmica.

No caso de um acidente onde ocorra apenas irradiação, as autoridades responsáveis pela segurança radiológica devem isolar o local do acidente até um raio de distância em que a contribuição do nível de irradiação proveniente deste acidente acrescente apenas uma pequena fração à radiação de fundo já existente na região. No caso de um acidente em que também

**A irradiação não torna objetos ou seres vivos radioativos ou portadores de radiação; portanto, depois da exposição, podemos tocá-los ou manuseá-los sem receio**

**A contaminação por microorganismos, conceito mais conhecido pela população, nos induz à falsa conclusão de que a contaminação radioativa também poderia proliferar em nosso organismo e passar para outros seres vivos, provocando uma epidemia**

haja contaminação, o mesmo raciocínio é aplicado à descontaminação da região ou das pessoas contaminadas.

Com relação aos noticiários, seria interessante que os chefes de redação adotassem a utilização de sentenças dentro do contexto de irradiação e de contaminação radioativa para informar com maior precisão o seu público. Tomemos esta notícia fictícia: "Hoje de manhã houve um acidente durante o transporte de material radioativo. As autoridades informaram que não houve vazamento e que a área ficará isolada em um raio de tantos metros, até que os técnicos procedam ao resgate do material", ou "...que houve vazamento e que a área ficará isolada em um raio de tantos metros por tantos dias, até a completa descontaminação do local pelos técnicos e que as pessoas que tiveram

ou possam ter tido contato direto ou indireto com o material radioativo estão passando por detectores de radiação, com o objetivo de verificar se elas se impregnaram com material radioativo e, se for o caso, encaminhá-las aos agentes de saúde, para serem descontaminadas". Se for interessante fornecer uma ordem de grandeza da intensidade da radiação, pode-se utilizar uma sentença como: "Segundo as autoridades, a tantos metros do local do acidente, o nível de radiação decresce para um nível igual ao da radiação natural". Concordo que estas expressões são um tanto longas, mas passam um retrato mais próximo da realidade do que "a área está altamente radioativa" ou a "região está com altos níveis de radiação".

Durante muitos anos eu trabalhei em uma empresa que, entre outras linhas de trabalho, esterilizava materiais por irradiação. Estes materiais eram da linha médica e farmacêutica (luvas cirúrgicas, drenos, próteses, frascos de colírio, fios cirúrgicos, etc.). Um cliente era do Rio de Janeiro e enviava para São Paulo, por via aérea, a matéria-prima de um dos seus medicamentos para ser esterilizada por irradiação. Uma vez ele mudou de companhia aérea, que tinha (ou ainda tem) por política não transportar material radioativo. Na vinda deste material não houve

qualquer problema, mas quando foi feita a remessa de volta, esta companhia não queria embarcar o material, devido a este portar um certificado de irradiação. Por telefone explicamos a diferença entre irradiação e contaminação radioativa, mas não houve como

convencê-los. Tivemos que enviar via fax uma declaração de que o material não havia se tornado radioativo por ter sido irradiado. Para ser coerente com a sua política, esta companhia aérea, que também faz o transporte de pessoas, deveria entregar um questionário a cada passageiro perguntando se alguma vez ele foi submetido a radioterapia. Em caso afirmativo, o passageiro deveria anexar uma declaração do hospital onde o tratamento foi feito, informando que ele não está radioativo por ter sido irradiado. Este é um pequeno exemplo do que pode ocorrer quando as pessoas não estão informadas da diferença e do significado entre irradiação e contaminação radioativa. O nosso cliente resolveu rápido este empe-

cho: voltou a transportar o seu material pela companhia aérea anterior.

#### Agradecimentos

Agradeço aos seguintes colegas pela leitura crítica deste artigo e pelas sugestões apresentadas: prof. Carlos R. Apolloni (DF-UEL), profa. Linda V.E. Caldas (IPEN/CNEN-SP) e prof. Gian M.A.A. Sordi (IPEN/CNEN-SP).

#### Para saber mais

- E. Okuno, *Radiação: Efeitos, Riscos e Benefícios* (Harbra, São Paulo, 1998), 82 p.
- A.R. Biral, *Radiações Ionizantes para Médicos, Físicos e Leigos* (Insular, Florianópolis, 2002), 230 p.
- L.A.M. Scaff, *Mitos e Verdades, Perguntas e Respostas - Radiações* (Barcarola, São Paulo, 2002), 118 p.
- E.M. Cardoso, *Apostila Educativa: Aplicações da Energia Nuclear* (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro), 18 p. Disponível em [www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp). Acesso em 23/2/2006.
- E.M. Cardoso, *Apostila Educativa: Energia Nuclear* (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro), 29 p. Disponível em [www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp). Acesso em 23/2/2006.
- E.M. Cardoso, *Apostila Educativa: Radioatividade* (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro), 19 p. Disponível em [www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp). Acesso em 23/2/2006.
- Y. Nouailhetas, *Apostila Educativa: Radiações Ionizantes e a Vida* (Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro), 42 p. Disponível em [www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp). Acesso em 23/2/2006.

# Anexo B

## Alimentos irradiados na Europa.

20.7.2002

PT

Jornal Oficial das Comunidades Europeias

C 174/3

### Lista das autorizações dos Estados-Membros de alimentos e ingredientes alimentares que podem ser tratados por radiação ionizante

(Em conformidade com o n.º 6 do artigo 4.º da Directiva 1999/2/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à aproximação das legislações dos Estados-Membros respeitantes aos alimentos e ingredientes alimentares tratados por radiação ionizante)

(O presente texto amula e substitui o texto publicado no Jornal Oficial C 43 de 16 de Fevereiro de 2002, p. 18)

(2002/C 174/03)

Produto	Autorizado até ao valor máximo estabelecido da dose global média de radiação absorvida [kGy]				
	BE	FR	IT	NL	UK
Ervas aromáticas ultracongeladas		10			
Batata	0,15		0,15		0,2
Batata doce					0,2
Cebola	0,15	0,075	0,15		0,2
Alho	0,15	0,075	0,15		0,2
Echalota	0,15	0,075			0,2
Produtos hortícolas, incluindo leguminosas secas					1
Leguminosas secas				1	
Frutos (incluindo cogumelos, tomate e ruibarbo)					2
Produtos hortícolas secos e frutos secos		1		1	
Cereais					1
Flocos e gérmens de cereais para produtos lácteos		10			
Flocos de cereais				1	
Farinha de arroz		4			
Goma arábica		3		3	
Carne de galinha				7	
Aves de capoeira		5			
Aves de capoeira (galos, gansos, patos, pintadas, pombos, codornizes e perus)					7
Carne de capoeira recuperada mecanicamente	5	5			
Miudezas de capoeira		5			
Pernas de rã congeladas	5	5		5	
Sangue, plasma e coagulados, desidratados		10			
Peixe e crustáceos (incluindo enguias, crustáceos e moluscos)					3
Camarão congelado descascado ou decapitado	5	5			
Camarão				3	
Clara de ovo	3	3		3	
Caseína, caseinatos		6			