



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Ciências

A Física das Radiações no 3º Ciclo do Ensino Básico

Margarida Isabel de Matos Inácio

Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em
Ensino de Física e Química no 3º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino
Secundário
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Professora Doutora Sandra da Costa Henriques Soares

Covilhã, Outubro de 2011

À memória da minha querida Mãe.
Ao meu marido Vasco e ao nosso filho Martim.

Trabalho apresentado no âmbito da unidade curricular de ESTÁGIO NAS ÁREAS DE FÍSICA E QUÍMICA, do Mestrado em Ensino de Física e Química no 3º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário.

O conteúdo do presente trabalho é da exclusiva responsabilidade da autora,
Margarida Isabel de Matos Inácio.

Agradecimentos

À Professora Doutora Sandra Soares, minha orientadora, agradeço a sua amizade, os seus ensinamentos, o seu apoio incondicional e disponibilidade demonstrados ao longo da elaboração deste trabalho.

Aos alunos do 8ºD da Escola Padre António Lourenço Farinha que realizaram comigo algumas das actividades experimentais aqui apresentadas.

À minha família pelo apoio e incentivo que sempre me transmitiram.

Resumo

A Física, é uma ciência que se preocupa em compreender os fenómenos naturais e baseia-se no método científico de investigação validando as teorias através da comprovação experimental. Estando em tudo o que nos rodeia, uma problemática actual, cujo estudo pode potenciar o gosto pelas Ciências, prende-se com os vários tipos de radiações, algumas perceptíveis pelos nossos sentidos e outras que nos passam completamente despercebidas.

Diariamente estamos igualmente sujeitos a um tipo específico de radiação, designada como ionizante, cuja origem é principalmente cósmica e terrestre.

Este trabalho propõe-se ajudar os alunos do 3º Ciclo do Ensino Básico a (re)conhecer o mundo que os rodeia, no que concerne à Física das Radiações, fornecendo mecanismos e ferramentas que lhes permitam, observar o seu quotidiano com outros olhos.

Palavras-chave: Física das Radiações, Radioactividade, Radiações Ionizantes, Radão.

Abstract

Physics is a science, which is concerned with the understanding of natural phenomena. It is essentially based upon the scientific research method, in which the various theories are checked and validated by experiment.

Physics is everywhere, all around us, it is very up-to-date and actually its interest is a growing trend. That's one of the main reasons, which has been improving the concern and the study of the natural sciences. It has to do with different kinds of radiation, some of them that are easily perceptible, but also the ones which hover near us without our knowledge and perception. We are also under a specific kind of radiation every day, which is known as the ionizing one. This kind of radiation comes mainly from the land, the earth itself and also from cosmic rays.

This essay aims at helping secondary school students observing, recognizing and understanding the world around us, as far as Radiation Physics is concerned, providing them with not only the knowledge, but also the tools which allow them to observe, grasp and understand their ordinary life in a different way.

Keywords: Radiation Physics, Radioactivity, Ionizing Radiation, Radon.

Lista de Abreviaturas

AIEA	-	Agência Internacional de Energia Atômica
ONU	-	Organização das Nações Unidas
GM	-	Geiger-Müller
CNEB	-	Currículo Nacional do Ensino Básico
FAO	-	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
ADN	-	Ácido desoxirribonucleico
EBPALF	-	Escola Básica Padre António Lourenço Farinha
ITN	-	Instituto Tecnológico e Nuclear
CNEN	-	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CERN	-	Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire
LIP	-	Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas
IRCP	-	Comissão Internacional de Protecção Radiológica
PTN	-	Pressão e Temperatura Normais

Lista de Simbolos

X	-	Raios X
α	-	Radiação α
β	-	Radiação β
γ	-	Radiação γ
Gy	-	Unidade de dose absorvida
Z	-	Número Atómico
A	-	Número de Massa
N	-	Símbolo químico do azoto
C	-	Símbolo químico do carbono
He	-	Símbolo químico do hélio
Pb	-	Símbolo químico do chumbo
Ba	-	Símbolo químico do bário
Rn	-	Símbolo químico do radão
Pu	-	Símbolo químico do plutónio
km	-	Unidade de distância
t	-	Unidade de tempo
e^-	-	Electrão
ν	-	Neutrino
E_c	-	Energia cinética
W	-	Energia de ligação do electrão
p	-	Momento linear do fotão
ν	-	Frequência
h	-	Constante de Planck
\hbar	-	Constante de Planck nor- mal- izada
λ	-	Comprimento de onda
c	-	Velocidade da luz
Mev	-	Mega electrão-volt

e^-	-	Electrão
e^+	-	Positrão
$f(E)$	-	Distribuição de energia
Ψ	-	Fluência energética
Φ	-	Fluência
Bq	-	Unidade de Actividade
A	-	Actividade
D	-	Dose absorvida
H	-	Taxa de dose equivalente

Índice

1	Fundamentos da Física das Radiações	2
1.1	Radiações	2
1.1.1	Fontes Naturais	3
1.1.2	Fontes Artificiais	3
1.2	Radiações Ionizantes	4
1.2.1	Aplicações das Radiações Ionizantes	4
1.3	Radioactividade	4
1.3.1	Decaimento α	5
1.3.2	Decaimento β	6
1.3.3	Radiações γ	8
1.4	Decaimento Radioactivo	10
2	Interação das Radiações com a Matéria	13
2.1	Efeito Fotoeléctrico	13
2.2	Efeito de Compton	13
2.3	Produção de Pares	14
2.4	Raios X	15
2.5	Dualidade onda-partícula para a matéria. Relação de De Broglie	16
2.6	Princípio da Incerteza de Heisenberg	18
3	Dosimetria das Radiações Ionizantes	19
3.1	Grandezas e unidades dosimétricas	19
3.1.1	Fluência	19
3.1.2	Exposição	20
3.1.3	Dose absorvida	20
3.1.4	Dose equivalente	20
3.1.5	Factor de qualidade	21
3.2	Detectores de Radiação	21
3.2.1	Detector de Geiger-Müller	22
4	Aplicação em sala de aula	24
4.1	Actividade Experimental: Determinação da Radiação de Fundo	26
4.2	Actividade Experimental: Balões Radioactivos	28
4.3	Actividade Experimental: Verificação da Lei do Inverso do Quadrado da Distância	32
4.4	Actividade Experimental: Estudo da Atenuação da Radiação ou Absorção da Radiação Gama	37
4.5	Actividade Experimental: Detectores Plásticos de Radiação (detector CR39)	44
4.6	Actividade Experimental: Radioactividade em Plantas	52
A	Anexos	65
A.1	Tutorial do software do Sistema de aquisição de dados associado a um contador Geiger-Müller	65

Lista de Figuras

1.1	Doses de radiação que estamos sujeitos [2].	2
1.2	Espectro Electromagnético [3].	3
1.3	Decaimento alfa [7].	6
1.4	Decaimento alfa [8].	6
1.5	Exemplo de um decaimento β^- [9].	7
1.6	Exemplo de um decaimento β^+ [9].	8
1.7	Exemplo de um decaimento γ [9].	9
1.8	Poder penetrante das radiações [11].	9
1.9	Número de átomos da amostra radioactiva ao longo do tempo [13].	11
2.1	No efeito fotoeléctrico são arrancados electrões de um metal quando este é iluminado com certo tipo de luz [14].	13
2.2	Efeito Compton [15]	14
2.3	Produção de pares.	15
2.4	Produção de raios X [17].	16
2.5	Raios X na medicina [18].	16
2.6	Padrões de difracção de electrões por uma folha de alumínio(à direita) e de raios X [20] [16].	17
3.1	Símbolo das radiações ionizantes lançado pela AIEA da ONU [23].	19
3.2	Diversas unidades utilizadas em radioatividade.	21
3.3	Detector GM e sistema de aquisição de dados.	22
3.4	Esquema de funcionamento de um detector Geiger-Müller [25].	23
3.5	Curva de ionização do gás [26].	23
4.1	Esquema organizador dos quatro temas [27].	24
4.2	Esquema de funcionamento de um detector Geiger-Müller.	26
4.3	Esquema de montagem	27
4.4	Decaimento do gás Radão [31].	28
4.5	Sistema de aquisição de dados.	29
4.6	Decaimento dos nuclídeos presentes no balão-EBPALF, para aquisições de 5min.	30
4.7	Esquema de montagem - distância de 15cm da fonte.	33
4.8	Contagens em função do inverso da distância fonte-detector.	35
4.9	Contagens em função do quadrado da distância fonte-detector.	35
4.10	Atenuação da radiação.	37
4.11	Gráfico do valor médio da taxa de contagens de ^{133}Ba em função da espessura.	40
4.12	Gráfico do valor médio da taxa de contagens de ^{133}Ba em função da espessura.	40
4.13	Gráfico do valor médio da taxa de contagens de ^{133}Ba em função da espessura.	40
4.14	Gráfico do valor médio da taxa de contagens de ^{133}Ba em função da espessura.	41
4.15	Gráfico do valor médio da taxa de contagens de ^{60}Co em função da espessura.	42
4.16	Gráfico do valor médio da taxa de contagens de ^{60}Co em função da espessura.	42
4.17	Gráfico do valor médio da taxa de contagens de ^{60}Co em função da espessura.	42
4.18	Radão na Tabela Periódica [32].	44
4.19	Radioactividade do radão [4].	45

4.20	A película de ambos os lados, tem de ser removida, por exemplo com um X-acto. . .	46
4.21	Revelação dos detectores CR39	46
4.22	Microscópio óptico com ampliação 100x	47
4.23	Imagem obtida microscopicamente.	47
4.24	Detector CR39 não exposto à radiação.	48
4.25	Detector CR39 localizado na Biblioteca (exposto durante 68 dias).	48
4.26	Detector CR39 localizado na sala de Professores (exposto durante 68 dias).	49
4.27	Detector CR39 localizado na arrecadação da sala 17 (exposto durante 68 dias).	49
4.28	Detector CR39 que não foi exposto com uma ampliação de 5000x.	49
4.29	Detector CR39 localizado na Biblioteca com uma ampliação de 500x.	50
4.30	Detector CR39 localizado na Biblioteca com uma ampliação de 2000x.	50
4.31	Detector CR39 localizado na Biblioteca com uma ampliação de 5000x.	50
4.32	Cartografia de radão em Portugal [4].	51
4.33	Sementes de alpista e de trigo	52
4.34	Altura média das plantas por dose de radiação.	55
4.35	Percentagem de alpistas germinados após 8 dias.	55
4.36	Percentagem de alpistas germinados após 12 dias.	56
4.37	Percentagem de alpistas germinados após 20 dias.	56
4.38	Altura média das plantas por dose de radiação.	59
4.39	Percentagem de trigo germinados após 8 dias.	59
4.40	Percentagem de trigo germinados após 12 dias.	60
4.41	Percentagem de trigo germinados após 20 dias.	60
A.1	Ícone da aplicação do software.	65
A.2	Programa Aw-Radw.	65
A.3	Definição das unidades a utilizar.	66
A.4	Unidades contagens por minuto.	66
A.5	Guardar o documento em ficheiro de texto	66
A.6	Início das contagens	67
A.7	Apresentação das contagens	67
A.8	Apresentação e leitura dos valores	67

Lista de Tabelas

1.1	Propriedades das radiações.	10
3.1	Contagens	21
4.1	Contagens	27
4.2	Valores das contagens.	30
4.3	Valor médio da taxa de contagens da fonte, ^{133}Ba , em função da distância da fonte ao detector.	34
4.4	Valor médio da taxa de contagens da fonte de ^{133}Ba em função do inverso do quadrado da distância da fonte ao detector.	35
4.5	Estudo da atenuação da radiação gama para a fonte de ^{133}Ba	39
4.6	Estudo da atenuação da radiação gama para a fonte de ^{60}Co	41
4.7	Determinação da concentração de radão no ar - detectores CR39.	48
4.8	Altura das plantas, oito dias após germinação.	53
4.9	Altura das plantas, 12 dias após germinação.	54
4.10	Altura das plantas, 20 dias após germinação.	54
4.11	Tabela das alturas das plantas, 8 dias após germinação.	57
4.12	Tabela das alturas das plantas, 12 dias após germinação.	58
4.13	Tabela das alturas das plantas, 20 dias após germinação.	58

Introdução

A radiação de fundo é uma radiação natural proveniente do espaço (radiação cósmica), do ar, das rochas e dos alimentos, a que todo o ser humano está exposto. A partir da década de 80 do século XX, a humanidade também ficou exposta a radiações de fontes artificiais.

A radioactividade natural é a radiação ionizante emitida por fontes naturais, tais como raios cósmicos ou substâncias radioactivas presentes na crosta terrestre (o potássio, o tório, o urânio e seus descendentes), na atmosfera (o radão), na água que bebemos, nos alimentos que ingerimos. Além da exposição externa, também existem algumas fontes internas de radiação, como por exemplo o potássio radioactivo no sangue.

A exposição às radiações naturais varia de local para local, dependendo principalmente da natureza do solo, da altitude e da latitude. Também para um mesmo local se podem verificar variações ao longo do tempo, em geral com carácter sazonal ligado ao clima e devido, principalmente, à interferência de fenómenos meteorológicos e hidrológicos na remoção, transporte e deposição de poeiras.

O conceito de Física Nuclear surgiu em 1911 por Rutherford quando propôs a existência do núcleo atómico. A investigação sobre as propriedades do núcleo continuaram até hoje, tendo-se descoberto entre 1940 e 1950 a existência de partículas mais elementares que o núcleo. A Física Nuclear ocupa o centro das atenções na investigação para a descoberta dos constituintes da matéria, através de experiências com núcleos. A investigação das propriedades nucleares e das leis que governam a estrutura do núcleo contribuíram para o desenvolvimento de uma série de equipamentos tais como detectores de fumo, pacemakers cardíacos, aparelhos de imagem ligados à medicina e utilizados como meio de diagnóstico e de tratamento, entre muitos outros, que permitem o aumento do nível, da qualidade e da esperança de vida.

O objectivo deste trabalho consiste em permitir a alunos do Ensino Básico a aquisição e ampliação de conhecimentos na área da Física das Radiações. Em geral, o conhecimento destes alunos nesta área é reduzido apesar de utilizarem, frequentemente, computadores, telemóveis, a televisão, meios emissores de radiações.

As doses de radiação na generalidade são baixas, apenas quando são utilizadas com frequência se podem tornar prejudiciais. As implicações pessoais e sociais da ciência e da tecnologia requerem uma compreensão básica destes assuntos de modo a que possam contribuir de forma activa e esclarecida para o progresso da sociedade em que estão inseridos.

Capítulo 1

Fundamentos da Física das Radiações

1.1 Radiações

As radiações são ondas electromagnéticas ou partículas que se propagam com uma determinada velocidade e energia. Podem ser geradas por fontes naturais ou por dispositivos construídos pelo homem e possuem energia variável desde valores pequenos até muito elevados. Dependendo da quantidade de energia, uma radiação pode ser descrita como não ionizante ou ionizante [1].

As radiações electromagnéticas mais conhecidas são: a luz, as microondas, as ondas de rádio, o radar, o laser, os raios X e a radiação gama.

As radiações não ionizantes possuem uma energia relativamente baixa e estão sempre à nossa volta e permitem-nos, por exemplo, ver televisão e cozinhar no forno microondas.

As radiações ionizantes possuem altas energias, são originadas do núcleo do átomo, podendo alterar o seu estado físico e causar a perda de electrões, tornando-os electricamente carregados.

O desenvolvimento tecnológico e científico veio trazer novas fontes de radiação ionizante, tais como a produção de energia nuclear, os radioisótopos artificiais, entre outros.

A figura 1.1 mostra a radiação total a que uma população está sujeita.

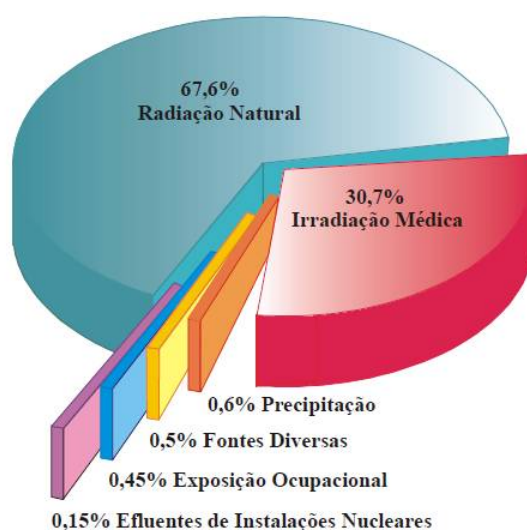


Figura 1.1: Doses de radiação que estamos sujeitos [2].

Ao conjunto de todas as formas de energia radiante do Universo dá-se o nome de Espectro Electromagnético (Figura 1.2).

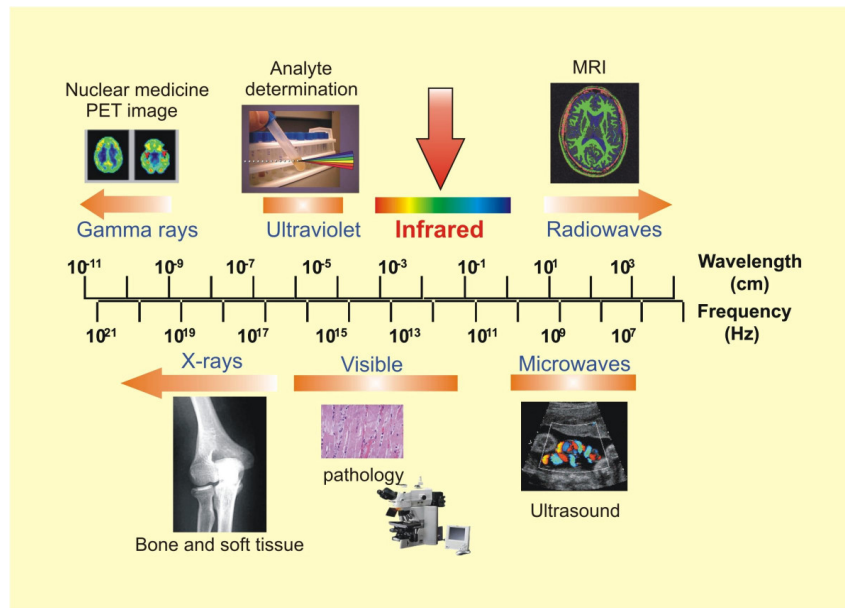


Figura 1.2: Espectro Electromagnético [3].

1.1.1 Fontes Naturais

A radiação cuja fonte é natural designa-se por radiação de fundo. Esta radiação pode ter origem no espaço extraterrestre e chega até nós através de raios cósmicos, ou pode ter origem nas substâncias radioactivas que existem no solo, nas rochas e na água.

Os raios cósmicos têm origem no Sol, na nossa galáxia, e noutras galáxias. São muito penetrantes, e constituídos por partículas e por radiação electromagnética muito energéticas.

Quanto maior for a altitude a que nos encontramos, maior é a quantidade de raios a que estamos sujeitos.

As substâncias radioactivas encontram-se no ar, nas rochas e até nos alimentos que ingerimos. Nas rochas encontram-se alguns materiais radioactivos. É o caso do granito, muito abundante na Região Centro do nosso país, que contém minerais radioactivos que constituem uma fonte significativa de radioactividade natural [4]. O gás Radão, ^{222}Rn , é um descendente directo do ^{226}Ra , ambos pertencentes à série radioactiva do ^{238}U existente nos granitos. Uma vez libertado do solo, o radão dispersa-se na atmosfera e ao desintegrar-se liberta partículas alfa. Este gás radioactivo torna-se prejudicial à saúde no interior de habitações pouco ventiladas. Nos alimentos aparecem elementos radioactivos, que foram absorvidos pelas plantas e animais, e que servem posteriormente para a nossa alimentação. Por isso, o homem e outros seres vivos funcionam, também, como fontes radioactivas, isto é têm no organismo isótopos radioactivos.

1.1.2 Fontes Artificiais

As fontes artificiais ou de origem tecnológica são fruto da criação humana. Em 1919 Rutherford descobriu a radioactividade artificial ao bombardear núcleos de ^{14}N , com partículas α , emitidas por nuclídeos radioactivos naturais.

São exemplos de fontes artificiais equipamentos de raios X e de radioterapia usados na medicina, as precipitações radioactivas provenientes de ensaios nucleares, os lixos radioactivos e até a radiação emitida por alguns televisores a cores.

1.2 Radiações Ionizantes

A Radiação Ionizante é a radiação que possui energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Um átomo pode tornar-se ionizado quando a radiação colide com um de seus electrões. Se a colisão ocorrer com muita violência, o electrão pode ser arrancado do átomo. Após a perda do electrão, o átomo deixa de estar neutro, uma vez que perde um electrão. O átomo torna-se um "ião positivo" porque o número de protões é maior do que o de electrões.

A radiação ionizante pode ser perigosa para os seres vivos, quando, por exemplo, um material radioactivo, contido num contentor selado ou mal selado, originar irradiação externa na sua vizinhança. Neste caso, as pessoas podem ficar contaminadas mesmo sem terem tido contacto directo com o material. Por outro lado, quando um material radioactivo se dispersa há, não só, risco de irradiação interna, como de contaminação, pois o material radioactivo pode entrar em contacto directo ou mesmo ser introduzido no corpo humano.

Mesmo pequenas quantidades de material radioactivo, que não representem risco por exposição externa (irradiação), podem produzir efeitos graves se entrarem em contacto directo ou se forem introduzidos no organismo.

Os efeitos biológicos das radiações ionizantes estão relacionados com a capacidade que têm de ionização e de fragmentação de moléculas. Tais efeitos dependem, naturalmente, do tipo de radiação, da dose absorvida, variando esta de pessoa para pessoa e de ser vivo para ser vivo, e do tipo de tecido irradiado. É portanto, importante o conhecimento da dose de radiação absorvida para se poderem conhecer, ou prever, os efeitos produzidos pela radiação.

1.2.1 Aplicações das Radiações Ionizantes

São imensas as aplicações da radiação ionizante e vão desde a medicina à agricultura.

Alguns isótopos radioactivos têm vindo a verificar diversas aplicações na medicina através da radiologia.

Na Arqueologia, é possível determinar a idade dos fósseis a partir de material radioactivo nele existente. Toda a matéria orgânica, viva ou morta, possui ^{14}C , o qual se vai desintegrando, emitindo radiação. A quantidade de ^{14}C é constante enquanto o ser estiver vivo. Quando o ser vivo morre, deixa de ingerir ^{14}C , pelo que a radiação emitida vai sendo cada vez menor, já que os átomos de ^{14}C continuam a desintegrar-se e não sendo substituídos. Desta forma, é possível datar os fósseis através do estudo da redução da quantidade de ^{14}C do fóssil.

Na agricultura, a procura da semente ideal para a obtenção de boas colheitas é uma realidade. Isto é conseguido pela exposição das sementes às radiações de alguns isótopos, que nelas produz mutações que as tornam mais vigorosas e geradoras de plantações abundantes. Recorre-se também à estrelização de insectos machos, por irradiação, para controlar as epidemias de insectos sem recorrer ao uso de pesticidas.

1.3 Radioactividade

A radioactividade foi descoberta, em 1896, pelo físico francês Henri Becquerel¹ quando estudava a emissão e a absorção de luz pela matéria. No ano anterior, o alemão Wilhelm Roentgen tinha descoberto os raios X a partir da fluorescência, raios, desconhecidos até aí, produziam em determinados materiais. A fluorescência é um fenómeno caracterizado pela absorção de luz com uma certa frequência e a sua reemissão com outra frequência. Ao investigar um possível processo inverso, ou

¹Antoine Henri Becquerel (1852 - 1908) foi um físico francês.

seja, a emissão de raios X a partir da fluorescência de sais de urânio, Becquerel notou que este composto emitia uma radiação penetrante, mesmo sem uma influência externa, como acontecia no caso da fluorescência [1].

Além de Becquerel, foram pioneiros na descoberta de elementos radioactivos os franceses Marie Curie² e Pierre Curie³, que investigaram propriedades de diversos minérios de urânio, que os levaria à descoberta do rádio e do polónio.

Certos núcleos são instáveis e tendem a estabilizar emitindo parte da sua energia. A radioactividade consiste na transformação de um núcleo atómico acompanhada da emissão de partículas ou de radiação electromagnética. A este processo também se chama decaimento. O núcleo resultante pode ser estável ou pode continuar a ser radioactivo [5].

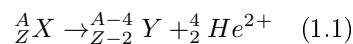
Todos os elementos que existem na Natureza com número atómico, Z , maior de 83 são radioactivos. No entanto também se observam decaimentos radioactivos em muitos elementos com números atómicos menores, como por exemplo, o trítio, o sódio e o potássio.

Certos núcleos radioactivos são naturais, como aqueles que estiveram na base da descoberta da radioactividade. Além destes, existem outros produzidos em laboratório por colisões nucleares. Esta técnica é importante na preparação de radioisótopos (isótopos radioactivos) para utilização em medicina, tanto em diagnóstico como em terapia [6].

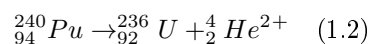
Nos primeiros estudos sobre radioactividade foram identificados três tipos de decaimento dos núcleos: a emissão de partículas alfa, α , (decaimento α), a emissão de electrões e positrões (decaimento beta menos e beta mais) e a emissão de fotões, γ , de energia elevada (decaimento γ). Num decaimento há conservação da carga total e do número total de protões e neutrões.

1.3.1 Decaimento α

O processo de decaimento alfa pode ser representado esquematicamente pela seguinte equação genérica:



As partículas α , são núcleos de hélio, ${}^4_2 He$ constituídos por dois protões e dois neutrões, desviadas por campos eléctricos e magnéticos. São muito ionizantes, porém pouco penetrantes. Quando um radioisótopo (que possui núcleo instável) emite uma partícula alfa, o seu número de massa (A) diminui 4 unidades e o seu Z diminui 2 unidades. Um exemplo de um processo do decaimento é o do ${}^{240}Pu$:



A figura 1.3 e 1.4 mostra o esquema de decaimento do ${}^{240}Pu$.

²Marie Curie, nome assumido após o casamento por Maria Skodowska, (1867- 1934) foi uma cientista polaca que exerceu a sua actividade profissional em França. Foi a primeira pessoa a ser laureada duas vezes, com um Prémio Nobel, da Física, em 1903 pelas suas descobertas no campo da radioactividade e com o Nobel de Química de 1911 pela descoberta dos elementos químicos rádio e polónio.

³Pierre Curie (1859- 1906) foi um físico francês, pioneiro no estudo da cristalografia, magnetismo, piezoelectricidade e radioactividade. Recebeu o Prémio Nobel de Física de 1903, juntamente com a sua mulher Marie Curie

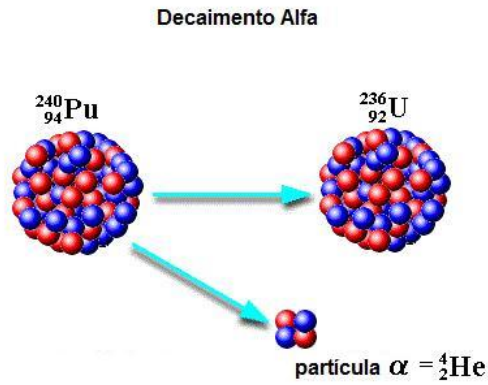


Figura 1.3: Decaimento alfa [7].

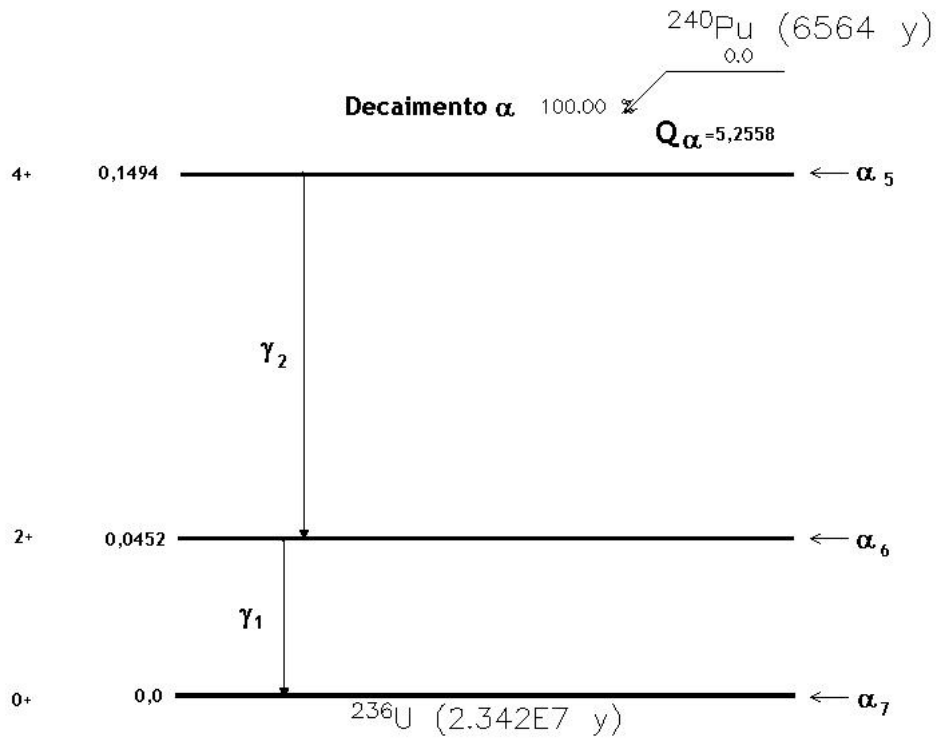


Figura 1.4: Decaimento alfa [8].

As partículas alfa, identificadas como feixes de núcleos de hélio, são altamente energéticas, podendo ser emitidas pelos elementos radioativos a milhares de quilômetros por segundo. O alcance das partículas alfa é muito pequeno, o que faz com que sejam facilmente blindadas, uma folha de papel é suficiente para as fazer parar.

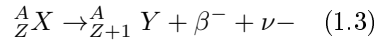
1.3.2 Decaimento β

As observações experimentais envolvendo os processos do tipo decaimento β foram inicialmente difíceis de interpretar, pois, aparentemente, leis tão bem estabelecidas como a conservação da energia, a conservação do momento linear ou conservação do momento angular pareciam não se verificar.

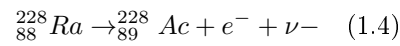
Esta situação, desconfortável, foi ultrapassada por Pauli⁴, em 1930, ao propôr a existência de uma nova partícula e a sua correspondente anti-partícula envolvida no decaimento β .

No processo de decaimento beta, um núcleo decai espontaneamente, emitindo um electrão ou um positrão (antipartícula do electrão). Quando emite um electrão, o processo designa-se por decaimento β^- , e quando emite um positrão, o processo designa-se por decaimento β^+ .

O decaimento β^- pode ser representado esquematicamente pela seguinte equação genérica:



Um exemplo de um processo do decaimento é o do ${}^{228}\text{Ra}$:



Na figura 1.5 está representado um exemplo de decaimento β^- .

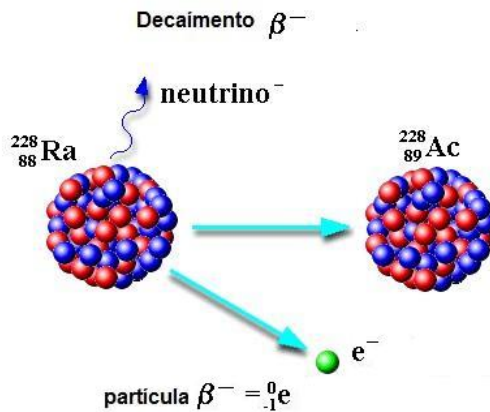
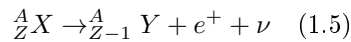
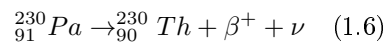


Figura 1.5: Exemplo de um decaimento β^- [9].

O decaimento β^+ pode ser representado esquematicamente pela equação genérica 1.5.



Um exemplo de um processo do decaimento é o do ${}^{230}\text{Pa}$:



Na figura 1.6 está representado um exemplo de um decaimento β^+ .

⁴Wolfgang Ernst Pauli (1900 1958) foi um físico austríaco conhecido pelo seu trabalho na teoria do spin do electrão.

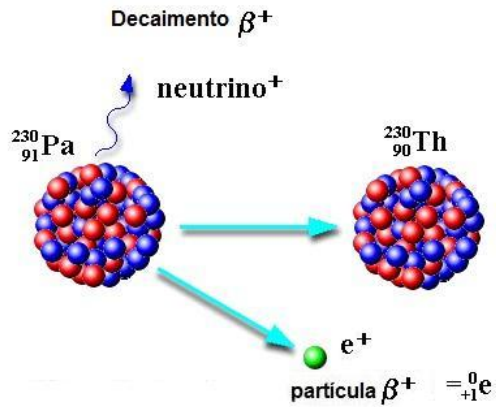


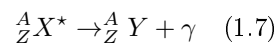
Figura 1.6: Exemplo de um decaimento β^+ [9].

No decaimento β , de carga negativa ou positiva, os raios beta são identificados como partículas de alta energia emitidas pelos núcleos de átomos radioactivos. É mais penetrante do que as radiações α , porém menos ionizante pelo que para as isolar são necessárias as barreiras mais espessas.

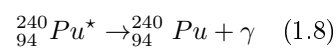
1.3.3 Radiações γ

A emissão de radiação γ ocorre, em geral, após o decaimento β ou α , e significa que um nuclido filho ficou com excesso de energia após a reordenação dos nucleões resultantes. Com o objectivo de atingir a estabilidade, o nuclido resultante emite a sua energia em excesso sob a forma de radiação γ .

A equação genérica deste decaimento é:



Um exemplo de um processo do decaimento é o do ${}^{240}\text{Pu}$:



A radiação γ é constituída por fotões emitidos pelos núcleos, quando decaem de estados excitados para estados de energia mais baixa (estado fundamental).

Na figura 1.7 está representado um exemplo de um decaimento γ .

Decaimento Gama

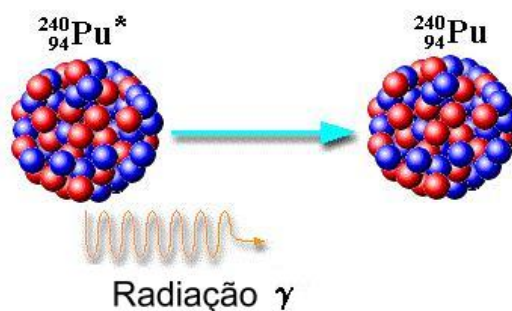


Figura 1.7: Exemplo de um decaimento γ [9].

Os raios γ são electricamente neutros e constituídos por radiação electromagnética (fotões) de frequência superior à do espectro da luz visível e à dos raios X. A radiação γ é muito penetrante, podendo atravessar o corpo humano. São quase inteiramente absorvidos por uma parede de betão com espessura de 1m ou por uma parede de chumbo de espessura 3cm, no entanto, esta radiação possui um fraco poder ionizante. É uma radiação muito perigosa aos organismos vivos, uma vez que pode alterar o material genético de uma pessoa, fazendo com que, por exemplo, os seus filhos tenham alta possibilidade de nascer cegos, surdos, mudos ou com algum outro tipo de deficiência. Pode então concluir-se que as partículas α , β e radiação γ têm em comum o facto de possuírem energia suficiente para ionizar a matéria. No entanto, como se pode ver na figura 1.8, o seu poder ionizante não é o mesmo bem como o percurso que podem percorrer em diversos materiais. Na figura 1.8 está representado esquematicamente o poder penetrante das radiações e na tabela 1.1 estão representadas algumas propriedades [10].

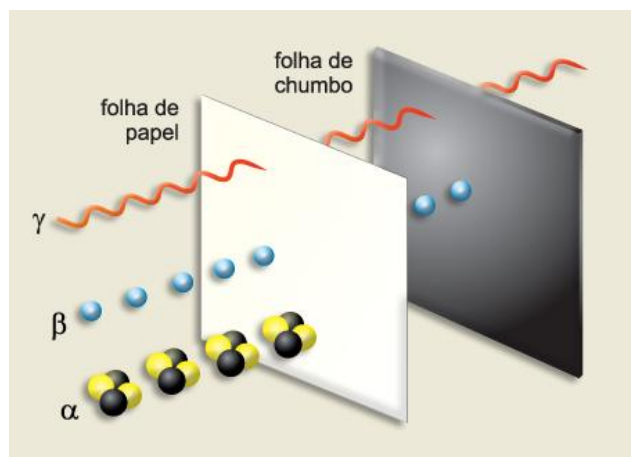


Figura 1.8: Poder penetrante das radiações [11].

Tabela 1.1: Propriedades das radiações.

Propriedades	Radiação Alfa	Radiação Beta	Radiação Gama
Natureza	Núcleos de átomos de hélio	Electrões ou positrões	Radiação Electromagnética
Carga eléctrica	+2	-1 ou +1	Não tem carga
Poder penetrante	Pouco penetrante	Bastante penetrante	Muito penetrante
Poder ionizante	Elevado	Moderado	pequeno
Velocidade de propagação	Até 30 000 km	<300 000 km/h	300 000 km/h

1.4 Decaimento Radioactivo

O processo pelo qual um átomo liberta espontaneamente energia do seu núcleo é denominado decaimento radioactivo [12].

Quando algo decai na natureza, como por exemplo, a morte de uma planta, ocorrem trocas de um estado complexo (a planta) para um estado simples (o solo). No caso de um átomo instável podemos pensar da mesma forma análoga. Por emissão de partículas ou de energia do núcleo, um átomo instável transforma-se, ou decai, para uma forma mais simples. Por exemplo, um isótopo radioactivo de urânio-238, o ^{238}U , decai até se converter no chumbo-206, ^{206}Pb . O ^{206}Pb é um isótopo estável.

Os núcleos instáveis podem tornar-se estáveis, emitindo uma partícula que tranporta energia. Assim, aparece a emissão por parte do núcleo de partículas α , de partículas β e radiação γ . A esta emissão é vulgar chamar-se radioactividade.

A actividade, A , de um material radioactivo corresponde ao número de desintegrações nucleares que correm por unidade de tempo numa certa quantidade de substância radioactiva.

$$A = \frac{-dN}{dt} [s^{-1}] \quad (1.9)$$

onde N corresponde ao número de desintegrações nucleares que correm por unidade de tempo numa certa quantidade de substância radioactiva.

A unidade SI da actividade é o Bequerel (Bq), que corresponde a uma desintegração/segundo (1Bq=1desintegração/s). A Agência de protecção Ambiental recomenda como actividade limite para o radão, em ambientes fechados, o valor de 0,15 Bq.

A lei de decaimento radioactivo, prevê como o número nuclear não decaído de uma dada substância diminua com o passar do tempo [13] e é representada pela equação 1.10.

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.10)$$

Na qual N_0 representa o número de núcleos no instante inicial, isto é, o número de núcleos em $t_0 = 0$, N representa o número de núcleos remanescentes na amostra no instante t e λ é uma propriedade do elemento denominada constante de desintegração radioactiva. O gráfico da figura representa a lei do decaimento radioactivo.

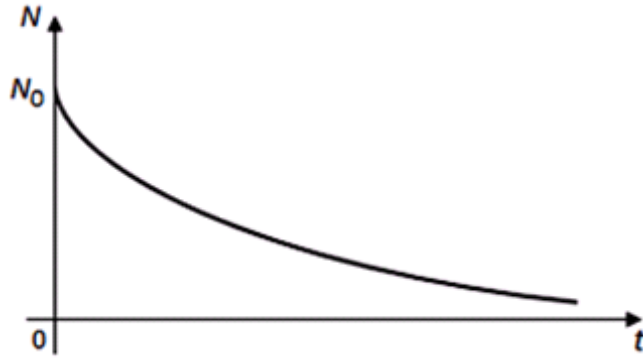


Figura 1.9: Número de átomos da amostra radioactiva ao longo do tempo [13].

O instante em que o número de átomos da amostra radioactiva foi reduzido para $\frac{N_0}{2}$ é designado por tempo de vida média, tal que:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{\frac{1}{2}}} \quad (1.11)$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{\frac{1}{2}}} \quad (1.12)$$

Aplicando o logaritmo à equação 1.12 fica:

$$\ln 2 = \ln e^{-\lambda t_{\frac{1}{2}}} \quad (1.13)$$

$$\ln 2 = \lambda t_{\frac{1}{2}} \ln e \quad (1.14)$$

$$\frac{\ln 2}{\ln e} = \lambda t_{\frac{1}{2}} \quad (1.15)$$

$$\lambda t_{\frac{1}{2}} = 0,693 \quad (1.16)$$

O tempo medio de vida, τ , é o inverso da constante de decaimento. Uma constante de decaimento elevada significa um tempo medio de vida curto.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (1.17)$$

$$t_{\frac{1}{2}} = 0,693\tau \quad (1.18)$$

A actividade representa-se pela equação 1.19:

$$A(t) = \lambda N(t) \quad (1.19)$$

logo, obtém-se a equação 1.20:

$$A(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (1.20)$$

Capítulo 2

Interacção das Radiações com a Matéria

A interacção de fotões de maior energia com matéria originou processos como o Efeito Fotoeléctrico, o Efeito de Compton e a Produção de Pares. A probabilidade de ocorrência destes fenómenos, que são também explicados pela teoria dos fotões, depende da radiação electromagnética incidente e do material absorvedor.

2.1 Efeito Fotoeléctrico

O efeito fotoeléctrico ocorre quando um fotão incide num átomo, transferindo a sua energia a um único electrão, fazendo com que ele seja ejectado. A energia cinética, E_c , do electrão é a diferença entre a energia do fotão incidente, E_γ , e a energia de ligação do electrão, W , que é a 1ª energia de ionização do átomo a que pertence o electrão:

$$E_c = E_\gamma - W \quad (2.1)$$

O efeito fotoeléctrico [5] é predominante nas baixas energias e para elementos de elevado Z . Devido à alta probabilidade de interacção do Efeito Fotoeléctrico com materiais de número atómico elevado, utiliza-se, por exemplo o chumbo, como blindagem para raios X e para radiação gama de baixas energias.

O Efeito Fotoeléctrico (Figura 2.1) tem muitas aplicações, como por exemplo, na abertura automática das portas, no funcionamento de alarmes, etc. É também usado na medição da intensidade da luz que entra nas máquinas fotográficas e de câmaras de vídeo [5].

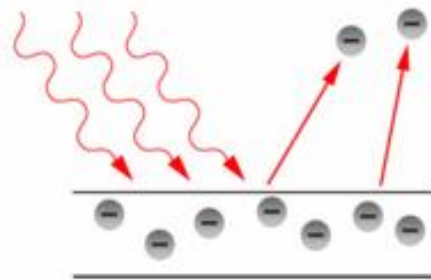


Figura 2.1: No efeito fotoeléctrico são arrancados electrões de um metal quando este é iluminado com certo tipo de luz [14].

2.2 Efeito de Compton

O Efeito de Compton¹ ocorre quando os fotões dos raios X são desviados pelo facto de interagirem com os elementos de determinada matéria. É o processo dominante na interacção de um fotão de

¹Artur Holly Compton (1892-1962) - Físico Americano descobriu o efeito em 1921 que tem o seu nome.

energia $h\nu_0$ com um electrão livre.

No Efeito de Compton (Figura 2.2) o fóton é disperso cedendo parte da sua energia a um e^- orbital. O e^- é considerado livre enquanto a sua energia de ligação for muito menor que a $h\nu_0$.

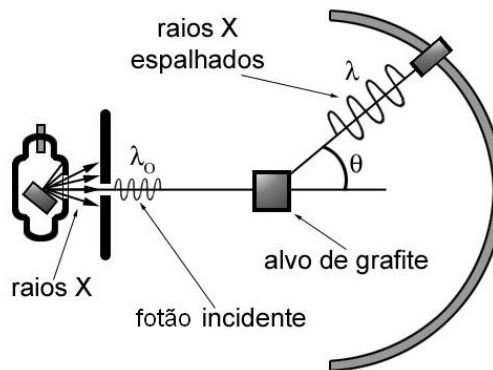


Figura 2.2: Efeito Compton [15]

A explicação do desvio da radiação e dos electrões reside no facto de se considerar a radiação como corpuscular. Tudo se passa como de uma colisão de partículas se tratasse. Assim, existe conservação da energia e do momento linear. O efeito de Compton ocorre quando a energia do fóton incidente é muito superior à energia de ionização [16].

Compton verificou experimentalmente que o momento linear do fóton é dado por:

$$p = \frac{E}{c}, \quad (2.2)$$

sendo

$$E = h\nu \quad (2.3)$$

e

$$v = \frac{c}{\lambda} \quad (2.4)$$

A diferença entre o efeito fotoelétrico e o efeito de Compton é que neste são emitidos um electrão e um fóton, enquanto que no caso fotoelétrico apenas é emitido um electrão.

2.3 Produção de Pares

A produção de pares ocorre quando fótons de radiação γ , com energia maior ou igual a 1,02 Mev [16] passam próximo a núcleos de número atómico elevado. A radiação incidente interage com o núcleo, transformando-se em duas partículas, o par electrão-positrão:

$$\gamma \longrightarrow e^- + e^+ \quad (2.5)$$

A produção de pares consiste no desaparecimento do fóton incidente e na criação simultânea de um electrão (e^-) e de um positrão (e^+), antipartícula do electrão. Isto é, o fóton pode converter-

se no campo electromagnético do núcleo. A energia disponível é suficiente para criar um par de electrão-positrão, figura 2.3.

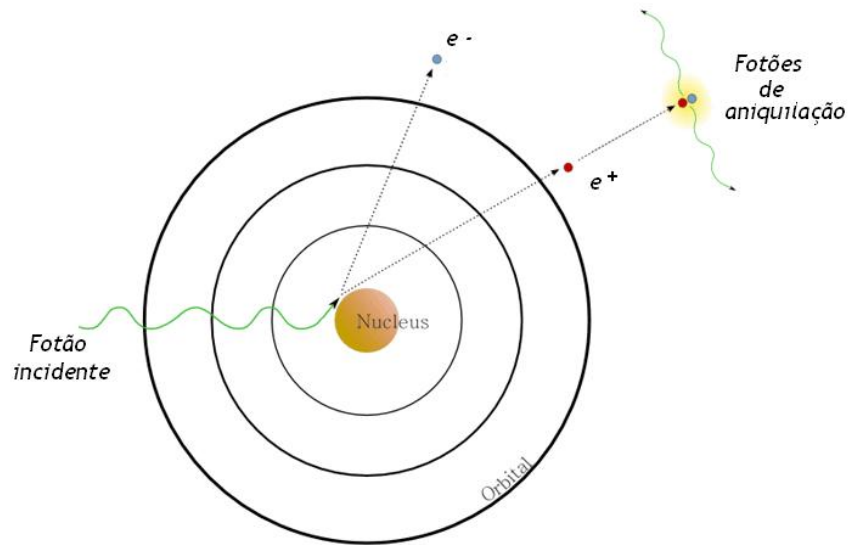


Figura 2.3: Produção de pares.

Como a massa nuclear é elevada praticamente não há energia de recuo transferida pelo que a energia em excesso distribuída pelas E_c do e^- e do e^+

2.4 Raios X

Os raios X foram descobertos em 1895 pelo físico alemão W. Roentgen² quando trabalhava com um tubo de raios catódicos.

Os raios X são emissões de natureza electromagnética, com comprimento de onda extremamente pequeno, porém maior que o raio gama, produzidas pela desaceleração de partículas carregadas ou pela transição de electrões nos átomos.

Ao contrário dos raios gama os raios X não vêm do centro dos átomos. Para se obter raios X, uma máquina acelera electrões e faz com que eles colidam contra uma placa de chumbo, ou outro material. Na colisão, os electrões perdem energia cinética, ocorrendo uma transformação em calor e um pouco de raios X.

Para produzir raios X utilizam-se aparelhos do tipo do tubo de Coolidge, figura 2.4, tubos onde existe um vazio tão perfeito quanto possível. O catodo é aquecido por uma corrente eléctrica fornecida por um gerador P, depois de aquecido ele emite grande quantidade de electrões. Não possui o alvo B, pois o próprio anodo actua como alvo e emite os raios X. A diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo, fornecida pelo gerador G, nestes tubos pode ser desde 100000 até 1000000V.

²Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) foi um Físico Alemão que, em 8 de novembro de 1895, produziu radiação electromagnética nos comprimentos de onda correspondentes aos actualmente chamados raios-X.

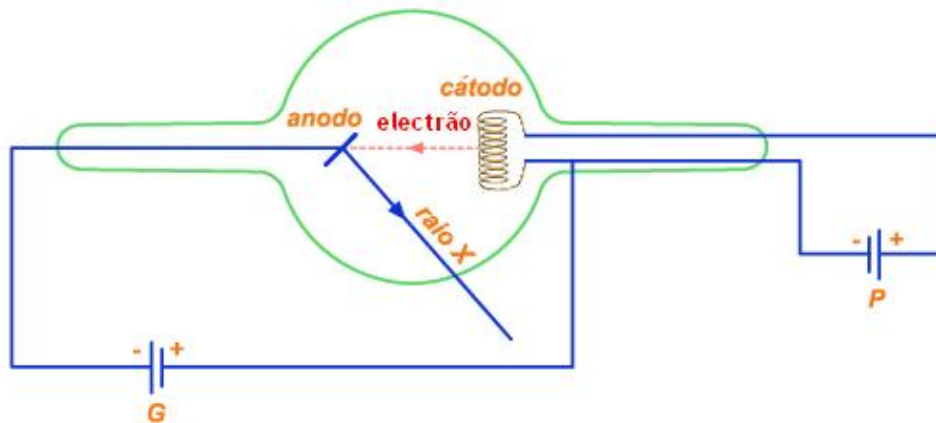


Figura 2.4: Produção de raios X [17].

Estes raios atravessam corpos opacos para o comprimento de onda de luz visível, e a sua absorção é proporcional à densidade da substância. Recorrendo aos raios X é possível obter uma imagem dos órgãos internos de uma pessoa. Nestas imagens, distinguem-se bem os órgãos e detectam-se diferentes deformações dos tecidos. A grande capacidade de penetração dos raios X deve-se ao facto do seu comprimento de onda ser muito pequeno.

Os raios X têm numerosas aplicações práticas importantes. Na medicina usam-se para diagnosticar doenças e para examinar ossos e dentes.



Figura 2.5: Raios X na medicina [18].

Outra aplicação dos raios X é a radiolocalização: método de detectar falhas em peças fundidas, fendas nos carris, verificação das qualidades de soldagem, etc. Também são utilizadas pelos funcionários de segurança dos aeroportos para examinar as bagagens dos passageiros.

2.5 Dualidade onda-partícula para a matéria. Relação de De Broglie

Em 1924, De Broglie³ defendeu que a dualidade onda-partícula, até então reconhecida para as ondas electromagnéticas, era também uma propriedade da matéria, e em especial dos electrões.

³Louis Victor Pierre Raymond, 7.º duque de Broglie, geralmente conhecido por Louis de Broglie (1892-1987), foi um Físico Francês.

Na altura, esta hipótese não passava de uma arrojada especulação teórica, uma vez que na época não havia nenhum indício experimental do carácter ondulatório dos electrões ou de qualquer outra partícula.

Segundo De Broglie, dois factores o impressionavam, por um lado o facto da energia do fóton depender da frequência, sendo assim impossível separar as ideias de partícula e de onda e por outro a ocorrência de números quânticos para o átomo de hidrogénio, que até então só era conhecido na teoria dos movimentos ondulatórios.

Estes dois factos levaram-no a propor que a dupla descrição das radiações electromagnética, como onda e como partícula, se deveriam estender aos electrões e, também, a qualquer outra partícula em movimento.

Assim os electrões não poderiam ser considerados apenas como corpúsculos, deveria associar-se igualmente características ondulatórias.

Em 1927, J. Davisson⁴ e L. Germer⁵ observaram fenómenos de difracção e de interferência ao fazerem incidir um feixe de electrões de baixa energia sobre um cristal de níquel, semelhante ao que já era conhecido com os raios X [19].

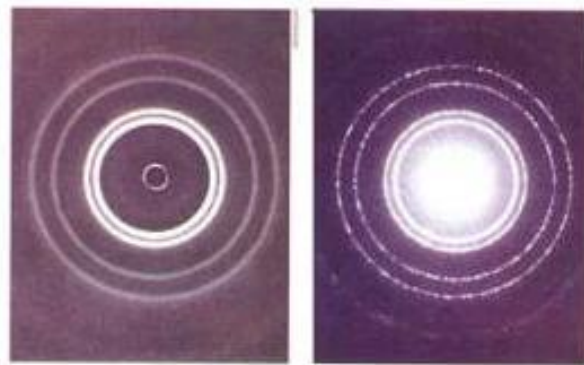


Figura 2.6: Padrões de difracção de electrões por uma folha de alumínio(à direita) e de raios X [20] [16].

A Relação de De Broglie foi proposta para conservar a simetria entre a radiação e matéria. A quantidade de movimento, p , das partículas e o comprimento de onda, λ , das ondas de De Broglie são inversamente proporcionais, tal como nos fótons [21]. Esta relação é matematicamente expressa pela equação:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (2.6)$$

onde h é a constante de Planck.

⁴James Chadwick (1891-1974) foi um Físico Britânico, colaborador de Ernest Rutherford, o seu principal contributo para a ciência foi a prova da existência do neutrão. Por esta descoberta, foi-lhe atribuído o Nobel de Física em 1935.

⁵Lester Halbert Germer (1896-1971) Físico Americano.

2.6 Princípio da Incerteza de Heisenberg

O princípio da incerteza é uma consequência importante da dualidade onda-partícula e representa um dos pilares da Mecânica Quântica. Segundo Werner Heisenberg⁶, não é possível conhecer simultaneamente e com exactidão a posição e o momento linear de uma partícula. Esta afirmação constitui o princípio da incerteza de Heisenberg, enunciado em 1926.

O produto da incerteza associada, Δx , pela incerteza associada ao seu correspondente momento linear, Δp_x , obedece à relação:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2} \quad (2.7)$$

Onde \hbar é a constante de Planck normalizada

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \quad (2.8)$$

Desta relação verifica-se que: 1) Quanto menor for Δx maior Δp_x e vice-versa.

2) Não é possível diminuir tais incertezas abaixo de um certo limite, isto é, o seu produto nunca é inferior a $\frac{\hbar}{2}$.

Ao aplicar-se o princípio da incerteza de Heisenberg ao átomo de hidrogénio [5], verifica-se que, na realidade, o electrão não descreve orbitas bem definidas em torno do núcleo, como defendia o modelo de Bohr. Se tal acontecesse, podíamos determinar com exactidão, e em simultâneo, a posição do electrão e o seu momento linear, o que está em contradição com o princípio da incerteza [16].

Este princípio só é válido no mundo sub-atómico.

⁶Werner Karl Heisenberg (1901-1976) foi um Físico Alemão, laureado com o Nobel da Física foi um dos fundadores da Mecânica Quântica.

Capítulo 3

Dosimetria das Radiações Ionizantes

No campo da Física, o termo dose assume uma importância muito grande, porque aparece sempre associada à radiação ionizante [22]. Embora possa produzir efeitos irreversíveis de natureza somática e genética, a radiação ionizante apresenta também uma série de benefícios. Dada a compreensão dos riscos associados ao caso das radiações ionizantes na saúde e de forma a perceber melhor a quantidade de radiação a que as pessoas estão sujeitas, têm sido propostas várias grandezas radiológicas. Em 2007 foi elaborado o símbolo da figura 3.1 com o intuito de diminuir as exposições acidentais às fontes radioactivas. O objectivo da dosimetria das radiações consiste na



Figura 3.1: Símbolo das radiações ionizantes lançado pela AIEA da ONU [23].

determinação da taxa de exposição, ou seja, da taxa de dose da radiação considerada num ponto específico do, seja ele vivo ou não. Dessa taxa de exposição, originar-se-à a dose de exposição, a dose de absorção e o efeito produzida por ela. Como já foi dito, a radioactividade é um fenómeno pelo qual alguns átomos instáveis se transformam espontaneamente noutros elementos. Um átomo instável desintegra-se emitindo radiação até se transformar num átomo estável.

3.1 Grandezas e unidades dosimétricas

3.1.1 Fluência

Os feixes de fótons produzidos em aceleradores lineares são caracterizados por uma distribuição de energia, $f(E)$, fluências, Φ , e fluências energéticas, Ψ .

A fluência, Φ , para um feixe de partículas, é definida como:

$$\Phi = \frac{dN}{da} [cm^{-2}] \quad (3.1)$$

onde N representa o número de partículas emitidas, transferidas ou recebidas e da a área infinitesimal perpendicular à direcção do feixe, que as partículas atravessam.

A fluência energética, Ψ , corresponde à quantidade de energia, E , que atravessa a secção de área da :

$$\Psi = \frac{d\bar{E}}{da} [MeV cm^{-2}] \quad (3.2)$$

3.1.2 Exposição

A exposição é definida como o quociente entre a carga, dQ , devido à ionização criada pelos electrões secundários (electrões e positrões), formando no interior de um elemento de volume com uma massa dm , por raios X ou gama, quando todos os electrões secundários são totalmente parados no ar:

$$X = \frac{dQ}{dm} [C kg^{-1}] \quad (3.3)$$

É definida apenas para fontes de radiação X ou gama. A taxa de exposição é igual para todo o espaço em torno de uma fonte de intensidade fixa. A unidade de medida de exposição no SI é C/kg, mas a unidade tradicional é o Röentgen (R), $1R = 2,58 \times 10^{-4} C/kg$ e pode ser definida como sendo a quantidade de radiação necessária para libertar cargas negativas e positivas de uma unidade electrostática de carga num centímetro cúbico de ar em condições PTN.

A taxa de exposição é definida como a variação da exposição com o tempo, medida usualmente em Röentgens por hora (R/h). O Röentgen aplica-se apenas a radiações X e gama, no ar, até 3MeV.

3.1.3 Dose absorvida

A dose absorvida D exprime a quantidade de energia média depositada pela radiação por unidade de massa.

$$D = \frac{dE}{dm} [J kg^{-1}] \quad (3.4)$$

A dose absorvida é medida em Joules por quilograma (J/kg), também denominada gray (Gy):

$$1Gy = 1J/kg \quad (3.5)$$

3.1.4 Dose equivalente

A dose equivalente, H , corresponde à energia, transportada por radiação, absorvida pelo tecido biológico. Esta grandeza tem maior significado biológico que a dose absorvida, pois permite relacionar os vários efeitos biológicos de vários tipos de radiação.

A dose equivalente é determinada multiplicando-se a dose absorvida por um factor de qualidade, que expressa o efeito biológico prejudicial. Na tabela 3.1 estão indicados os factores determinados pela ICRP.

Tabela 3.1: Contagens

Radiação	Factor de qualidade
Raios X e Gama	1
Electrões	1
Protões	5
Neutões	5-20
Partículas Alfa	20

A unidade SI de dose equivalente é o Sievert (Sv), o nome foi dado em homenagem a Sievert¹, mas a unidade mais utilizada é o rem (Roentgen Equivalent Man). Esta resulta do produto entre a dose em rads e o factor de qualidade. A figura 3.2 indica diversas medidas utilizadas em radioactividade.



Figura 3.2: Diversas unidades utilizadas em radioactividade.

3.1.5 Factor de qualidade

O factor de qualidade, Q , é adimensional e depende da transferência de energia linear e aumenta com este valor.

$$H = D \times Q \quad (3.6)$$

3.2 Detectores de Radiação

As radiações ionizantes por si só não podem ser medidas directamente, a sua detecção é conseguida analisando o resultado produzido da interacção da radiação com um meio sensível (detector).

Para medir a radiação podemos utilizar detectores ou dosímetros. Os detectores podem ser detectores de ionização (GM) ou detectores de cintilação (fotomultiplicadores de NaI). Os dosímetros dão uma avaliação contínua da radiação recebida pelo corpo. Indicam a exposição ou a dose absorvida total a que a dose absorvida total a que uma pessoa foi submetida.

¹Rolf Maximilian Sievert (1896-1966) foi um fisico sueco, a sua contribuição mais significativa foi o estudo dos efeitos biológicos da radiação ionizante.

3.2.1 Detector de Geiger-Müller

O detector Geiger²-Müller³ permite detectar a presença de radiações ionizantes, tais como partículas alfa e beta e radiação X e gama [24], mas não permite medir a energia das partículas. É constituído por um cilindro metálico que encerra no seu interior uma mistura de gases, (por exemplo, árgon ou hélio) e um eléctrodo positivo, o ânodo, que está ligado a um circuito exterior. O invólucro metálico serve de eléctrodo a potencial zero (cátodo). Entre o ânodo e o cátodo é aplicada uma diferença de potencial (da ordem das centenas de volt). Uma das extremidades do cilindro é fechada com uma película fina de um material menos absorvente (mica, grafite, etc) constituindo a janela do detector. A janela do detector é a zona por onde deverão entrar as partículas a detectar, por isso, deve estar virada para a fonte radioactiva, figura 3.3.



Figura 3.3: Detector GM e sistema de aquisição de dados.

Ao entrar no detector, a radiação provoca a ionização do gás, ou seja, arranca um electrão ao átomo, transformando-o numa carga positiva. Esse electrão é então atraído para o ânodo e o ião para o cátodo, embora mais lentamente pois é mais pesado do que o electrão. Neste processo os electrões podem ganhar energia cinética suficiente para provocar provocações ionizações secundárias durante o seu trajecto até ao ânodo. Produz-se um sinal eléctrico porque os electrões ao atingirem o ânodo provocam uma diminuição do seu potencial. O sinal desaparece quando o ião atinge o cátodo, uma vez que a diferença de potencial é restabelecida. O sinal eléctrico permite a detecção da radiação que atravessa o detector. O valor da diferença de potencial define o tipo de detector e só se obtém um detector Geiger quando a amplitude do sinal for independente da diferença de potencial aplicada ao ânodo. Se a diferença de potencial for muito elevada pode entrar-se numa região de descarga contínua, o que pode danificar de forma permanente o detector.

Na figura 3.4 está representado um sistema completo de detecção Geiger-Müller, constituído pelo detector, uma fonte de alta tensão para polarizar o ânodo a um potencial conveniente e um sistema de contagem.

²Johannes Wilhelm Geiger (1882-1945) foi um fisico alemão. Juntamente com Walther Müller, desenvolveu o contador Geiger.

³Walther Müller (1905-1979) foi um fisico alemão, mais conhecido pelo aperfeiçoamento do contador Geiger de Hans Geiger, hoje em dia conhecido como tubo de Geiger-Müller.

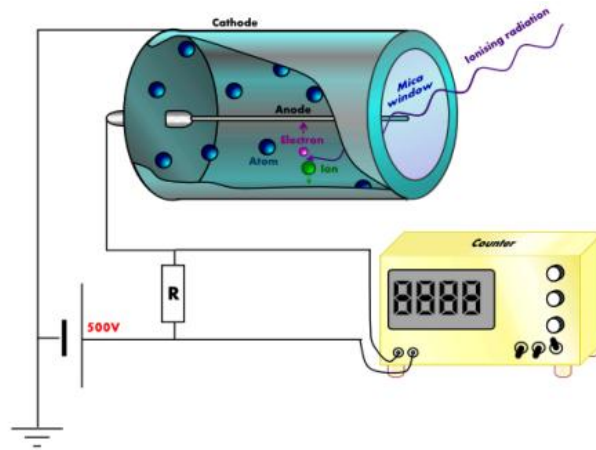


Figura 3.4: Esquema de funcionamento de um detector Geiger-Müller [25].

O detector Geiger-Müller detecta radiações numa região específica como mostra o gráfico da figura 3.5.

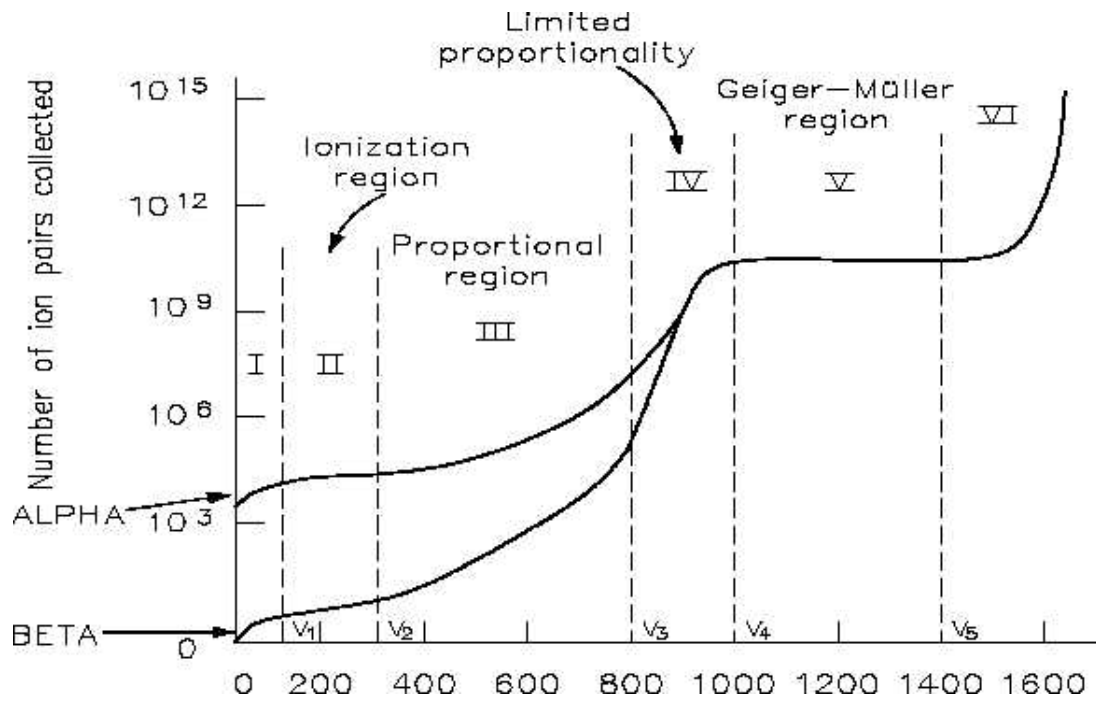


Figura 3.5: Curva de ionização do gás [26].

Capítulo 4

Aplicação em sala de aula

Segundo o documento "Currículo Nacional do Ensino Básico - Competências Essenciais" (Ministério da Educação, DEB, 2001), uma noção ampla de competência é aquela "que integra conhecimentos, capacidades e atitudes e que pode ser entendida como saber em acção ou em uso. Deste modo, não se trata de adicionar a um conjunto de conhecimentos um certo número de capacidades e atitudes, mas sim de promover o desenvolvimento integrado de capacidades e atitudes que viabilizam a utilização dos conhecimentos em situações diversas, mais familiares ou menos familiares aos alunos".

Assim, se por um lado, as competências, entendidas como um "saber em acção ou em uso", integram conhecimentos, capacidades e atitudes, por outro lado, as experiências de aprendizagem visam proporcionar aos alunos oportunidades para uma aquisição progressiva de conhecimentos, enquadrada pelo desenvolvimento de capacidades de pensamento e de atitudes favoráveis à aprendizagem. Deste modo, "a cultura geral" que todos os alunos devem desenvolver como resultado da sua passagem pelo Ensino Básico inclui a apropriação de um conjunto de conceitos e processos fundamentais, mas não se identifica como o conhecimento memorizado de termos, factos e procedimentos "básicos", desprovidos de elementos de compreensão, interpretação e resolução de problemas. A aquisição progressiva de conhecimentos deve ser enquadrada pelo desenvolvimento de capacidades de pensamento e de atitudes favoráveis à aprendizagem" (in "Proposta de Reorganização Curricular do Ensino Básico", Ministério da Educação, DEB).

Para o desenvolvimento das competências definidas, o ensino das ciências nos três ciclos do Ensino Básico desenvolve-se em torno de quatro temas organizadores: Terra no Espaço, Terra em Transformação, Sustentabilidade na Terra e Viver Melhor na Terra (Figura 4.1).

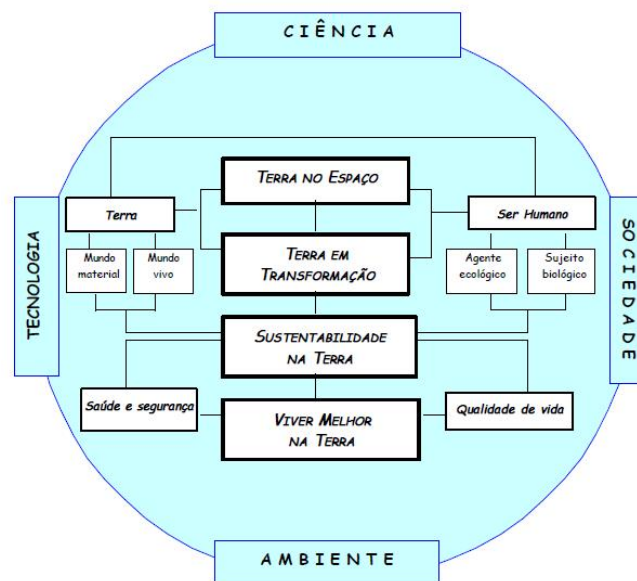


Figura 4.1: Esquema organizador dos quatro temas [27].

O esquema organizador da figura salienta a importância de explorar os temas numa perspectiva

interdisciplinar, em que a interação CTSA deverá constituir uma vertente integradora e globalizante da organização e da aquisição de saberes científicos [27]. A radioactividade, nas suas variadas formas e aplicações, tem um interesse cada vez maior no dia a dia das pessoas [28]. Os alunos de hoje devem começar a preparar-se, estudando as potenciais aplicações das radiações e as consequências do seu uso [29]. As actividades experimentais propostas poderão ser realizadas no âmbito da temática Viver Melhor na Terra, incluem a medição da radiação de fundo, verificação da variação da fonte de radiação com a distância, a captura de poeiras radioactivas numa sala pouco usada, absorção radiação gama, medição de radiação através de detectores plásticos e também a aplicação das radiações na agricultura.

4.1 Actividade Experimental: Determinação da Radiação de Fundo

Objectivo

Investigar a radiação de fundo com um detector Geiger-Müller.

Fundamentação teórica

Todos nós estamos constantemente expostos a uma grande variedade de radiações naturais. Estas radiações podem provir do espaço exterior à Terra a que chamamos radiação cósmica e dos átomos radioactivos que existem, por exemplo, no solo que pisamos, nos materiais de construção das nossas casas, ou até no nosso próprio corpo. O detector Geiger-Müller (GM) permite detectar a existência de núcleos radioactivos não fazendo a distinção dos diferentes tipos de radiação. O tubo de GM não permite medir a energia das partículas, apenas faz uma "contagem" do número das que lá chegam.

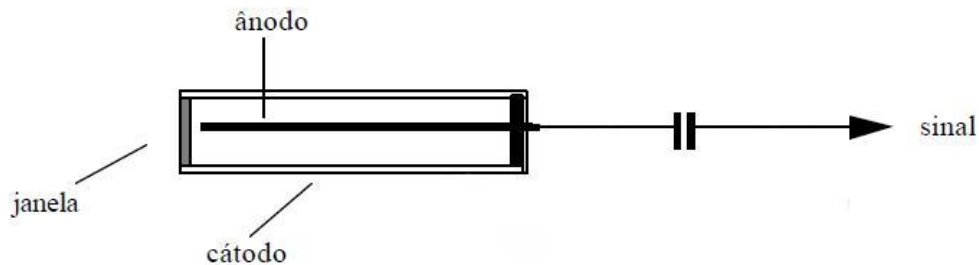


Figura 4.2: Esquema de funcionamento de um detector Geiger-Müller.

Quando uma partícula, electricamente carregada ou um fóton, entra no tubo Geiger-Müller pode ionizar as moléculas do gás, criando pares ião-electrão. O campo eléctrico aplicado faz a separação destes pares sendo os iões conduzidos para o cátodo e os electrões para o ânodo. Dado que os electrões possuem uma massa muito inferior à dos iões, a velocidade que podem atingir ao serem acelerados pelo campo eléctrico, é elevada, atingindo o ânodo mais rapidamente (os tempos típicos de colecção dos electrões são da ordem do microsegundo). Por seu lado os iões são muito mais lentos, sendo necessários tempos da ordem do milissegundo para serem colectados. Neste processo os electrões podem ganhar energia cinética suficiente para provocarem ionizações secundárias durante o seu trajecto até ao ânodo. Inicia-se assim um processo de multiplicação de cargas, sendo contudo o número final de cargas secundárias produzidas proporcional à energia da partícula incidente [30].

Material e equipamento

- Detector Geiger-Müller (GM)
- Sistema de aquisição (Computador)

Procedimento experimental

- 1- Liga o sistema de aquisição automático;
- 2- Faz uma aquisição de 60 em 60 segundos durante 10 minutos sem qualquer fonte junto ao detector GM.

2- Regista os resultados obtidos numa tabela e encontra um valor médio das contagens e o respectivo desvio padrão.

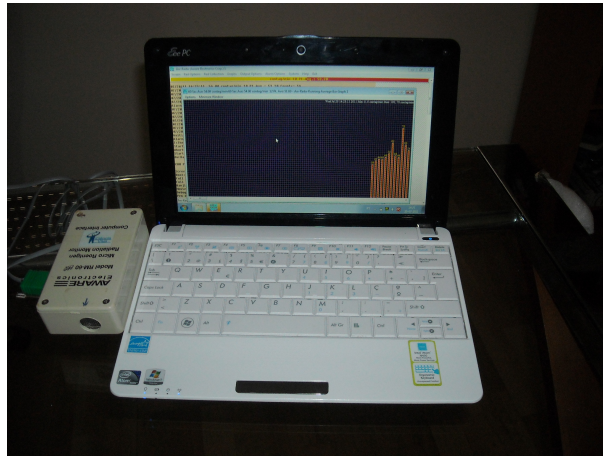


Figura 4.3: Esquema de montagem

Análise e tratamento dos resultados

Tabela 4.1: Contagens

Intervalo de tempo/min	Contagens/min
1	26
2	38
3	34
4	42
5	38
6	30
7	28
8	28
9	32
10	44
Média das contagens	34,2
Desvio padrão das contagens	5,96

Conclusão

O detector GM é sensível à radiação alfa, beta, gama e X, mas não faz distinção entre elas. A radioactividade ambiente tem componentes muito importantes da radiação cósmica e da radiação gama de emissão directa das rochas. A medição de radiação de fundo com um contador GM permite saber se existem contaminações de radiação gama e não de radão, nas condições efectuadas.

Após a análise da tabela 5.1 pode concluir-se que o valor médio do número de contagens de fundo da sala 17 da Escola Básica Padre António Lourenço Farinha é de 34,2 contagens por minuto. O número de radiações que atingem o detector por minuto apresentou flutuações estatísticas normais à realização da actividade e que se devem essencialmente ao movimento das partículas que constituem o ar.

4.2 Actividade Experimental: Balões Radioactivos

Objectivo

Detectar a radioactividade dos descendentes do radão na atmosfera de um edifício

Fundamentação teórica

Os balões ao serem friccionados ficam carregados adquirindo a capacidade de captar partículas de pó que estão suspensas no ar. Como os descendentes sólidos do radão tendem a ligar-se a poeiras e aerossóis presentes na atmosfera torna-se possível fazer a detecção da radioactividade presente no ar utilizando um detector Geiger-Müller [30].

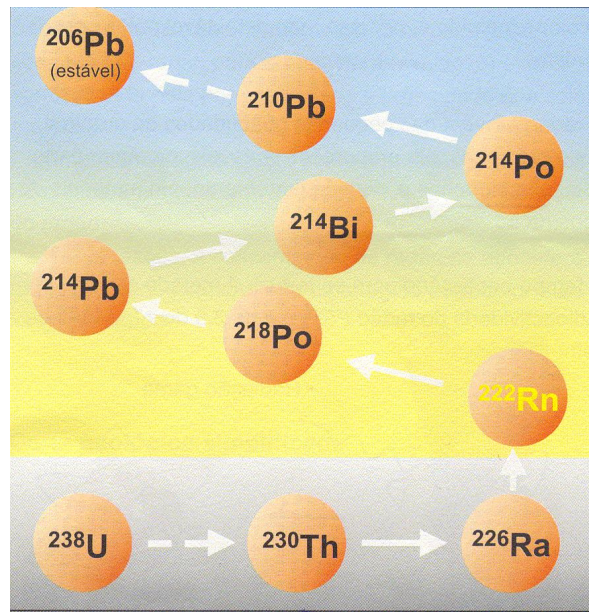


Figura 4.4: Decaimento do gás Radão [31].

Material e equipamento

- Balão de borracha;
- Detector GM;
- Pano para friccionar o balão e balão de borracha.

Procedimento experimental

- 1- Enche um balão de borracha e fricciona-o com um pano de lã. Pendura o balão eletrizado, durante um intervalo de tempo de 30min, num compartimento que esteja normalmente fechado.
- 2- No laboratório liga o sistema de aquisição do contador Geiger-Müller.

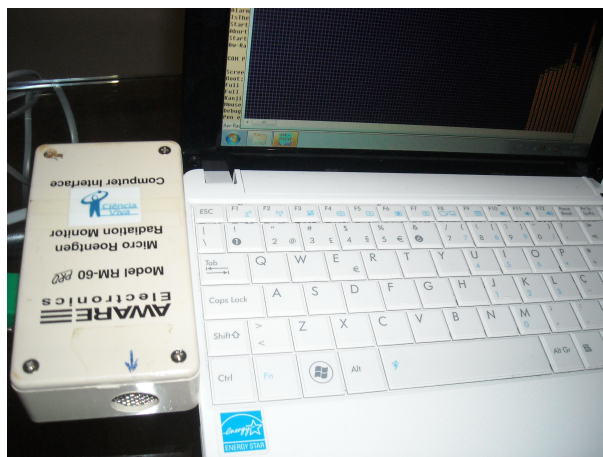


Figura 4.5: Sistema de aquisição de dados.

- 3- Faz uma contagem prévia do fundo durante um intervalo de tempo de 5 minutos sem qualquer fonte radioactiva nas proximidades.
- 4- Esvazia o balão e coloca-o em frente à janela do detector GM. Faz aquisições durante 1h30 em intervalos de tempo de 5min.
- 5- Regista os resultados num ficheiro (sistema de aquisição automático)
- 6- Representa graficamente o número de contagens em função do tempo com o fundo subtraído, utilizando uma folha de cálculo.

Análise e tratamento dos resultados

O número de contagens ao fim do primeiro minuto de aquisição foi de 26. O valor do fundo foi de 35 contagens por minuto. A tabela 4.2 e gráfico 4.6 em escala semi-logarítmica, representam as contagens agrupadas em intervalos de 5min com o fundo subtraído. O erro associado foi de $\sigma_x = 5,1$.

Tabela 4.2: Valores das contagens.

Tempo/min	Contagens
5	93
10	90
15	69
20	73
25	67
30	69
35	59
40	60
45	51
50	53
55	57
60	55
65	53
70	37
75	45
80	39
85	43
90	19

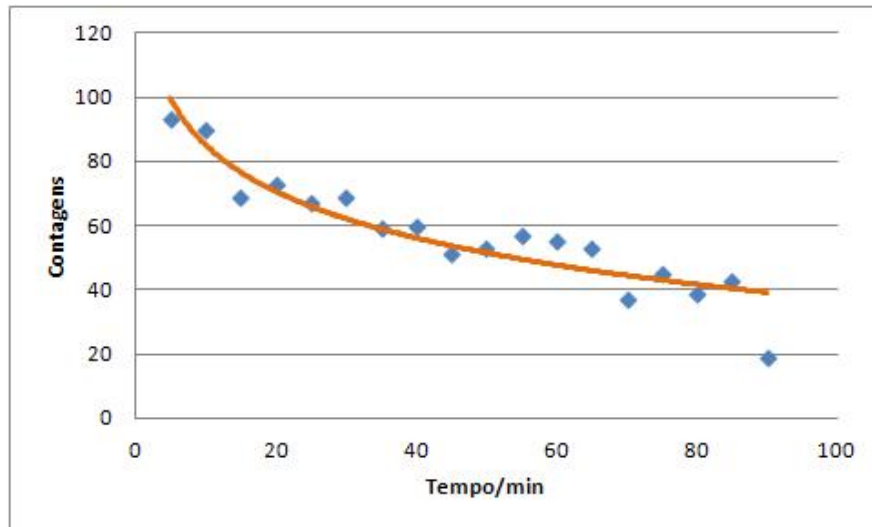


Figura 4.6: Decaimento dos nuclídeos presentes no balão-EBPALF, para aquisições de 5min.

Conclusão

O gráfico 4.6 representa as contagens efectuadas agrupadas em intervalos de 5min, numa arcação existente na sala 17 da EBPALF. Às contagens foi subtraído o fundo. Os erros representados foram calculados a partir da equação:

$$\sigma_x = \sqrt{x_i} \quad (4.1)$$

onde x_i representa o número de contagens durante 1 minuto.

Este gráfico traduz o decaimento de núcleos radioativos descendentes do radão cujo gás se encontra na atmosfera do interior do edifício.

Com esta experiência consegue-se demonstrar a existência de radioatividade no balão e, consequentemente, na atmosfera da arrecadação da sala 17. Para evitar altos níveis de radão, nas habitações, que podem prejudicar o Homem, devem tapar-se fendas dos pavimento, para impedir a penetração do radão, e favorecer a ventilação natural, de modo a reduzir os níveis de radão no interior das casas, o que é possível especialmente no Verão.

4.3 Actividade Experimental: Verificação da Lei do Inverso do Quadrado da Distância

Objectivo

Esta experiência tem como objectivo verificar experimentalmente a relação inversa entre a taxa de contagens e o quadrado da distância da fonte radioactiva ao detector Geiger-Müller.

Fundamentação Teórica

Uma das leis mais comuns da natureza é a lei do inverso do quadrado da distância, as intensidades da luz e do som obedecem esta lei. É fácil perceber que, à medida que nos afastamos de uma fonte de luz, a sua intensidade fica cada vez menor. O mesmo é verdade em relação ao som, à medida que nos afastamos de um pequeno altifalante. O que pode não ser óbvio (e muito difícil de medir com os sentidos humanos, que não respondem linearmente ao estímulo que recebem) é que se dobrarmos a distância até às fontes, a intensidade diminui para um quarto da original e não para a metade. Se triplicarmos a distância, a intensidade diminui nove vezes. Por definição, para uma fonte pontual de radiação isotrópica a razão entre o número de partículas emitidas por unidade de tempo, Δn , e o ângulo sólido, $\Delta\Omega$, é constante (C):

$$\frac{\Delta n}{\Delta\Omega} = C \quad (4.2)$$

Sabendo que num ângulo sólido a razão entre a área do detector ΔS e o quadrado da distância à fonte, d , é:

$$\Delta\Omega \approx \frac{\Delta S}{d^2} \quad (4.3)$$

Podemos concluir que,

$$\Delta n = C \frac{\Delta S}{d^2} \quad (4.4)$$

Assim, comprova-se que a exposição a uma fonte de radiação diminui, significativamente, com o aumento da distância, uma vez que o factor de redução aumenta com o quadrado da distância.

Material e equipamento

- Fonte radioactiva de ^{133}Ba ;
- Contador Geiger;
- Computador com software compatível de leitura de dados;
- Suporte;
- Régua.

Procedimento experimental

1- Monta o dispositivo experimental (contador Geiger-Müller, Computador) e faz correr o programa "GeigerWin95" e abre a aplicação "aw-radw".

2- Começa por colocar a fonte radioactiva à distância de 15cm do contador GM.

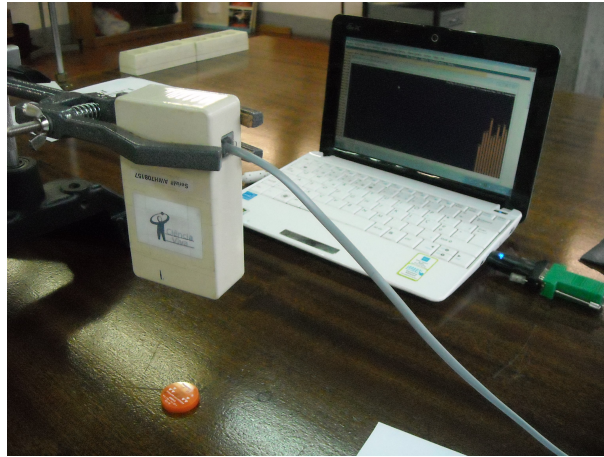


Figura 4.7: Esquema de montagem - distância de 15cm da fonte.

3- Nessa posição procede a uma aquisição durante um intervalo de tempo de 1 minuto.

4- Faz aquisições durante o mesmo intervalo de tempo colocando a fonte em posições sucessivamente mais próximas do contador Geiger-Müller (12 cm, 9 cm, 6cm e 3cm).

5- Faz ainda a contagem sem fonte.

6- Para cada uma das distâncias procede a dez contagens.

7- Regista as tuas observações.

8- Calcula, para cada distância o valor médio do número de contagens e o inverso do quadrado da distância. Regista os resultados.

9- Faz um gráfico do número de contagens em função da distância entre a fonte e o detector.

10- Faz um gráfico do número de contagens em função do quadrado da distância entre a fonte e o detector.

11 - Responde às seguintes questões:

11.1- A radiação nuclear segue a lei do inverso do quadrado da distância? Justifica a tua resposta.

11.2. O produto entre o número de contagens e o quadrado da distância entre a fonte e o detector é aproximadamente constante? Porque?

11.3 Qual a primeira atitude que tomarias para te protegeres da radiação libertada de um recipiente que contém material radioactivo?

Análise e tratamento dos resultados

Na tabela 4.3 estão indicados os valores das contagens para as diferentes distâncias da fonte de ^{133}Ba ao detector GM.

O valor do fundo foi de 35 contagens/min e o erro associado foi de $\sigma_x = 5,1$.

Tabela 4.3: Valor médio da taxa de contagens da fonte, ^{133}Ba , em função da distância da fonte ao detector.

	Distância da fonte ao detector GM/cm			
	3	9	12	15
Contagens/min	92	73	58	56
	92	66	86	78
	86	86	72	54
	98	74	70	76
	90	76	58	66
	112	71	64	70
	81	78	70	64
	88	67	74	66
	114	54	86	54
	74	96	44	64
Média das contagens	92,7	74,1	68,2	64,8

O erro da taxa de contagens foi calculado através da equação matemática 4.5:

$$\sigma_x = \frac{1}{t} \sqrt{x_i} \quad (4.5)$$

onde x_i representa o número de contagens durante 1min e t representa o tempo em minutos.

Na tabela 4.4 estão indicados os valores das contagens para as diferentes distâncias da fonte, ^{133}Ba , ao detector e valores do inverso do quadrado da distância.

Tabela 4.4: Valor médio da taxa de contagens da fonte de ^{133}Ba em função do inverso do quadrado da distância da fonte ao detector.

Valor médio da taxa de contagem - radiação de fundo (contagens/min)	Distância da fonte - contador GM d/cm	$\frac{1}{d} / \text{cm}^{-1}$	$\frac{1}{d^2} / \text{cm}^{-2}$
52,9	3	0,333	0,110
34,3	9	0,111	0,012
28,4	12	0,083	0,007
25,0	15	0,067	0,004

A partir da tabela 4.4 constrói-se os gráficos da figura 4.8 e 4.9 referente ao número de contagens em função do inverso da distância entre a fonte e o detector e em função do inverso do quadrado da distância.

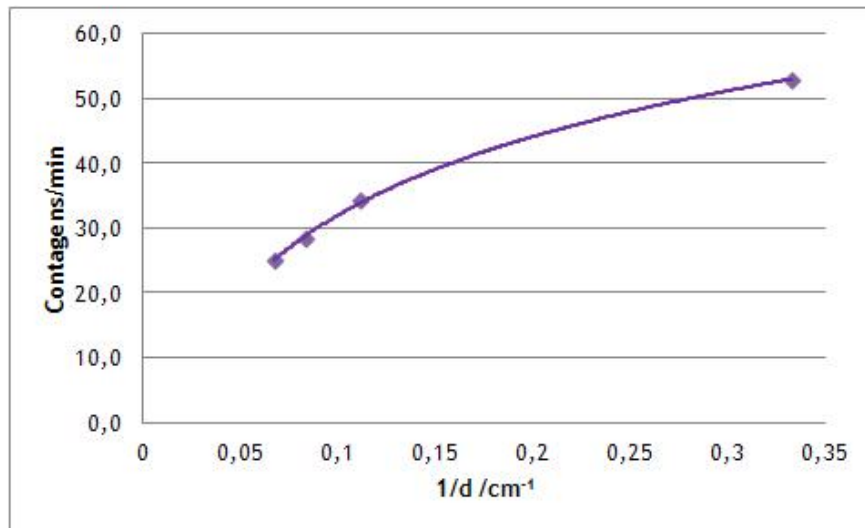


Figura 4.8: Contagens em função do inverso da distância fonte-detector.

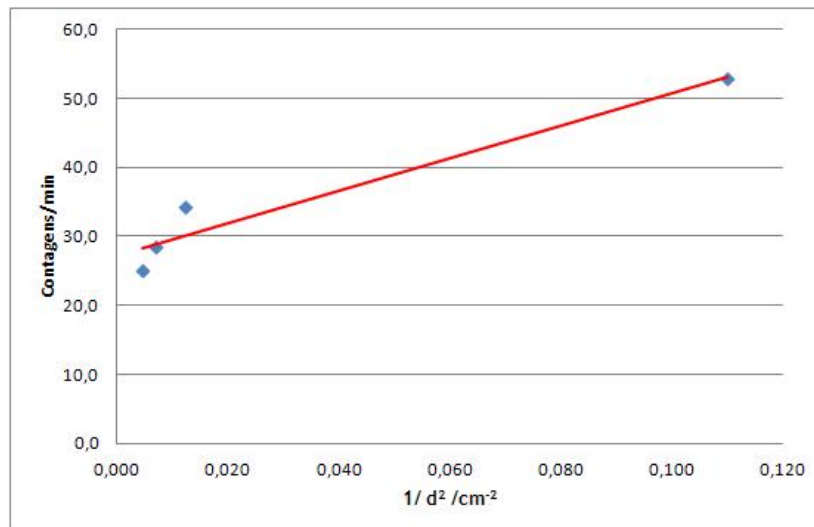


Figura 4.9: Contagens em função do quadrado da distância fonte-detector.

Conclusão

Os resultados obtidos permitem verificar experimentalmente a Lei do Inverso do Quadrado da Distância.

Verificou-se experimentalmente que para distâncias muito pequenas o detector GM satura e que para distâncias muito grandes começa a ter problemas de ruído (fundo).

4.4 Actividade Experimental: Estudo da Atenuação da Radiação ou Absorção da Radiação Gama

Objectivo

Estudar a atenuação da radiação gama utilizando diversos materiais com diferentes espessuras.

Fundamentação teórica

A radiação pode ser absorvida, transmitida ou refletida por um corpo. Pela nossa experiência, sabemos que, quanto maior for a espessura de um corpo, menor a sua transmissibilidade. Como exemplo podemos pensar numa folha de papel: olhando através da folha em direção do Sol verificamos que a folha transmite alguma radiação visível, fazendo a mesma experiência com um livro grosso, já não acontece o mesmo, isto é, o livro não transmite radiação visível. A diferença entre o livro e uma folha é a sua espessura. A figura 4.10 ilustra, esquematicamente, o que acontece a um feixe de radiação de intensidade $I_0(Wm^{-2})$ que, ao atravessar por uma espessura $dx(m)$ de matéria é, parcialmente, absorvido, tendo, no final, a intensidade $I(Wm^{-2})$.

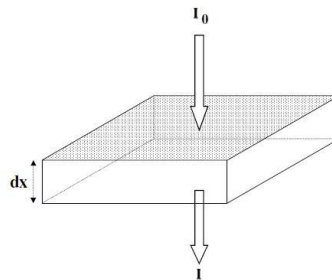


Figura 4.10: Atenuação da radiação.

Considerando uma porção elementar de matéria, dx , verifica-se que:

$$I_0 + dI = I \quad (4.6)$$

onde dI representa a parte absorvida. Rearranjando:

$$I_0 - I = -dI \quad (4.7)$$

A parte absorvida, $-dI$, aumenta proporcionalmente com a intensidade da radiação: quanto maior a intensidade, maior será a absorção. A parte absorvida $-dI$ aumenta proporcionalmente com a espessura do material dx . Combinando essas duas proporcionalidades temos:

$$\frac{-dI}{I} = \mu dx \quad (4.8)$$

onde o coeficiente de proporcionalidade μ é chamada de coeficiente de atenuação.

Integrando a equação 4.8 entre os limites $(x = 0; I = I_0)$ e $(x = x; I = I)$ obtém-se a equação 4.9:

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu x \quad (4.9)$$

Aplicando-se a função exponencial aos dois membros da equação 4.9 obtemos a Lei de Beer-Lambert, equação 4.10:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (4.10)$$

Por esta equação é possível obter que a intensidade dos raios γ decai exponencialmente com a espessura do absorvedor.

O coeficiente de atenuação μ , que tem como unidade o m^{-1} é próprio do material e do comprimento de onda da radiação. Ele pode ser determinado experimentalmente medindo-se a intensidade de uma determinada radiação antes e depois da passagem por uma espessura conhecida do material. O valor de μ pode ser calculado através da equação 4.8.

$$\mu = \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{x} \quad (4.11)$$

Material e equipamento

- Detector GM e computador com software compatível de leitura de dados;
- Fonte radioactiva de ^{133}Ba ;
- Fonte radioactiva de ^{60}Co ;
- Placas de diversos materiais, como por exemplo: alumínio, chumbo, papel e madeira.

Procedimento experimental

- 1- Liga o sistema de aquisição de dados.
- 2- Durante 5 minutos faz a aquisição de fundo.
- 3- Coloca a fonte radioactiva no suporte e faz cinco contagens.
- 4- Coloca placas de diferentes materiais e espessuras entre a fonte e o detector.
- 5- Para cada tipo de material faz aquisições com diferentes espessuras.

Análise e tratamento dos resultados

Foi feita a aquisição de contagens durante 5 minutos para cada folha de espessura diferente. Subtraiu-se o fundo e calculou-se o valor médio das contagens.

Os valores obtidos para a fonte ^{133}Ba encontram-se na tabela 4.5 e os valores obtidos para a fonte

^{60}Co encontram-se na tabela 4.6.

Os gráficos das figuras 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14 referem-se ao valor médio da taxa de contagens de ^{133}Ba em função da espessura de diferentes materiais: alumínio, chumbo, madeira e papel.

Os gráficos das figuras 4.15, 4.16 e 4.17 referem-se ao valor médio da taxa de contagens de ^{60}Co em função da espessura de diferentes materiais: alumínio, chumbo e madeira.

Tabela 4.5: Estudo da atenuação da radiação gama para a fonte de ^{133}Ba .

Alumínio $x_{\text{Al}}=0,080\text{cm}$ $\rho_{\text{Al}}=2,7\text{g/cm}^3$		Alumínio $x_{\text{Al}}=0,110\text{cm}$ $\rho_{\text{Al}}=2,7\text{g/cm}^3$		Alumínio $x_{\text{Al}}=0,125\text{cm}$ $\rho_{\text{Al}}=2,7\text{g/cm}^3$	
contagens/min	282	contagens/min	174	contagens/min	150
	278		172		126
	278		154		152
	254		134		156
	284		174		178
Valor médio (M)	275,2	Valor médio (M)	161,6	Valor médio (M)	152,4
M - fundo(39,8)	235,4	M - fundo(39,8)	121,8	M - fundo(44,8)	107,6
Chumbo $x_{\text{Pb}}=0,312\text{cm}$ $\rho_{\text{Pb}}=11,3\text{g/cm}^3$		Chumbo $x_{\text{Pb}}=0,620\text{cm}$ $\rho_{\text{Pb}}=11,3\text{g/cm}^3$		Chumbo $x_{\text{Pb}}=0,963\text{cm}$ $\rho_{\text{Pb}}=11,3\text{g/cm}^3$	
contagens/min	88	contagens/min	80	contagens/min	70
	126		80		80
	114		86		66
	132		88		86
	90		92		74
Valor médio (M)	110	Valor médio (M)	85,2	Valor médio (M)	75,2
M - fundo(39,8)	70,2	M - fundo(39,8)	45,4	M - fundo(44,8)	30,4
Madeira $x_{\text{Madeira}}=0,325\text{cm}$ $\rho_{\text{Madeira}}=0,56\text{g/cm}^3$		Madeira $x_{\text{Madeira}}=0,650\text{cm}$ $\rho_{\text{Madeira}}=0,56\text{g/cm}^3$		Madeira $x_{\text{Madeira}}=1,96\text{cm}$ $\rho_{\text{Madeira}}=0,56\text{g/cm}^3$	
contagens/min	216	contagens/min	170	contagens/min	110
	260		186		114
	280		204		140
	252		168		106
	222		170		122
Valor médio (M)	246	Valor médio (M)	179,6	Valor médio (M)	118,4
M - fundo(39,8)	206,2	M - fundo(39,8)	139,8	M - fundo(44,8)	73,6
Papel $x_{\text{papel}}=0,005\text{cm}$ $\rho_{\text{papel}}=0,7\text{g/cm}^3$		Papel $x_{\text{papel}}=0,08\text{cm}$ $\rho_{\text{papel}}=0,7\text{g/cm}^3$		Papel $x_{\text{papel}}=1,85\text{cm}$ $\rho_{\text{papel}}=0,7\text{g/cm}^3$	
contagens/min	452	contagens/min	358	contagens/min	126
	448		322		154
	464		340		144
	402		344		104
	440		334		96
Valor médio (M)	441,2	Valor médio (M)	339,6	Valor médio (M)	124,8
M - fundo(39,8)	401,4	M - fundo(39,8)	299,8	M - fundo(44,8)	80

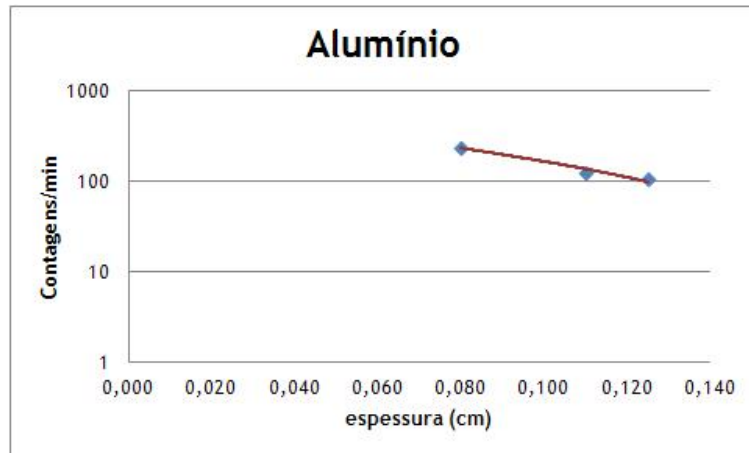


Figura 4.11: Gráfico do valor médio da taxa de contagens de ^{133}Ba em função da espessura.

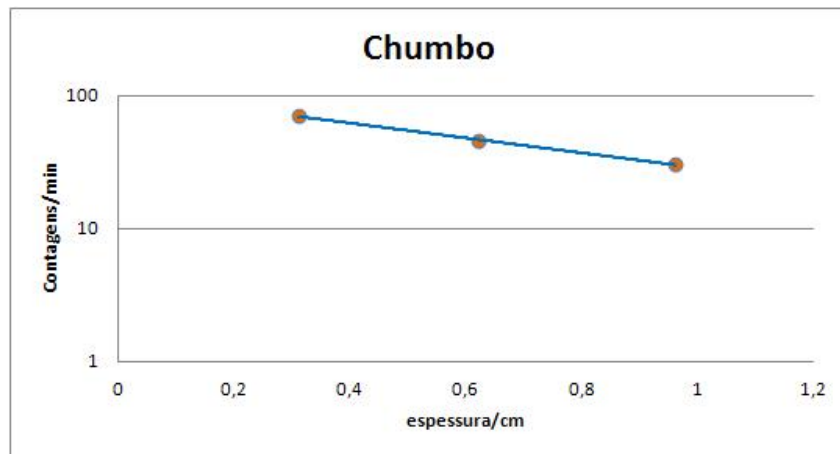


Figura 4.12: Gráfico do valor médio da taxa de contagens de ^{133}Ba em função da espessura.

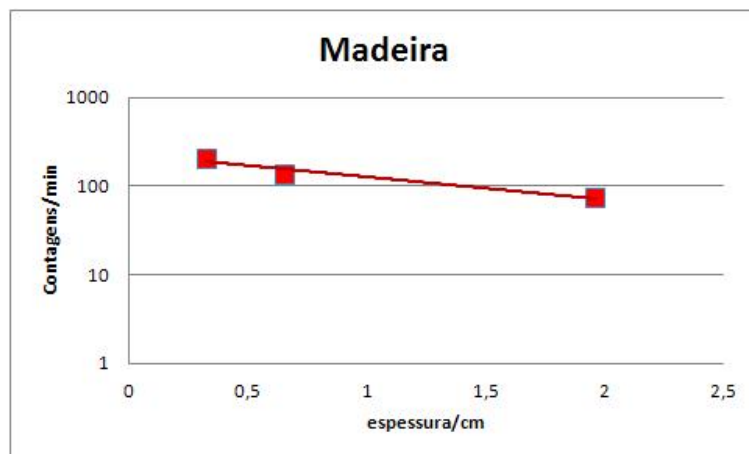


Figura 4.13: Gráfico do valor médio da taxa de contagens de ^{133}Ba em função da espessura.

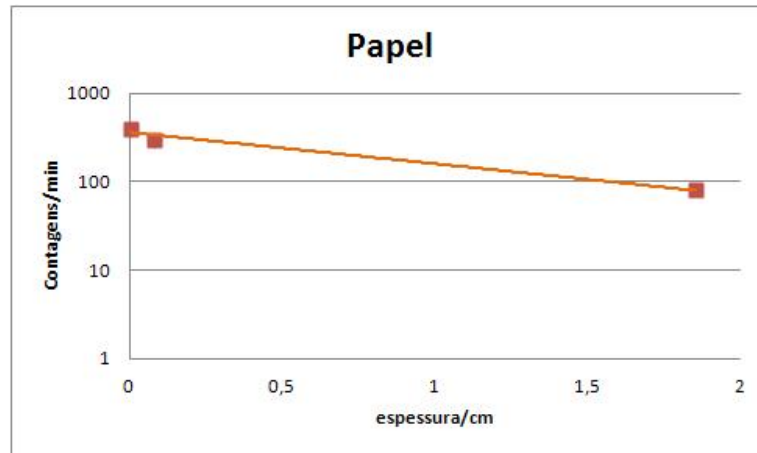


Figura 4.14: Gráfico do valor médio da taxa de contagens de ^{133}Ba em função da espessura.

Tabela 4.6: Estudo da atenuação da radiação gama para a fonte de ^{60}Co .

Alumínio $x_{\text{Al}}=0,080\text{cm}$ $\rho_{\text{Al}}=2,7\text{g/cm}^3$		Alumínio $x_{\text{Al}}=0,110\text{cm}$ $\rho_{\text{Al}}=2,7\text{g/cm}^3$		Alumínio $x_{\text{Al}}=0,125\text{cm}$ $\rho_{\text{Al}}=2,7\text{g/cm}^3$	
contagens/min	6726	contagens/min	5830	contagens/min	4887
	6373		5640		4940
	6328		5618		5014
	6596		5630		4988
	6328		5634		4958
Valor médio (M)	6470,4	Valor médio (M)	5670,4	Valor médio (M)	4957,4
M - fundo(44,8)	6425,6	M - fundo(44,8)	5625,6	M - fundo(44,8)	4912,6
Chumbo $x_{\text{Pb}}=0,312\text{cm}$ $\rho_{\text{Pb}}=11,3\text{g/cm}^3$		Chumbo $x_{\text{Pb}}=0,620\text{cm}$ $\rho_{\text{Pb}}=11,3\text{g/cm}^3$		Chumbo $x_{\text{Pb}}=0,963\text{cm}$ $\rho_{\text{Pb}}=11,3\text{g/cm}^3$	
contagens/min	1132	contagens/min	730	contagens/min	478
	1118		700		504
	1090		662		504
	1128		754		472
	1130		740		470
Valor médio (M)	1119,6	Valor médio (M)	717,2	Valor médio (M)	485,6
M - fundo(44,8)	1074,8	M - fundo(44,8)	672,4	M - fundo(44,8)	440,8
Madeira $x_{\text{Madeira}}=0,325\text{cm}$ $\rho_{\text{Madeira}}=0,56\text{g/cm}^3$		Madeira $x_{\text{Madeira}}=0,650\text{cm}$ $\rho_{\text{Madeira}}=0,56\text{g/cm}^3$		Madeira $x_{\text{Madeira}}=1,96\text{cm}$ $\rho_{\text{Madeira}}=0,56\text{g/cm}^3$	
contagens/min	4166	contagens/min	2864	contagens/min	1230
	3976		2976		1186
	4192		2966		1290
	4154		2868		1264
	4112		2966		1244
Valor médio (M)	4120	Valor médio (M)	2928	Valor médio (M)	1242,8
M - fundo(44,8)	4075,2	M - fundo(44,8)	2883,2	M - fundo(44,8)	1198

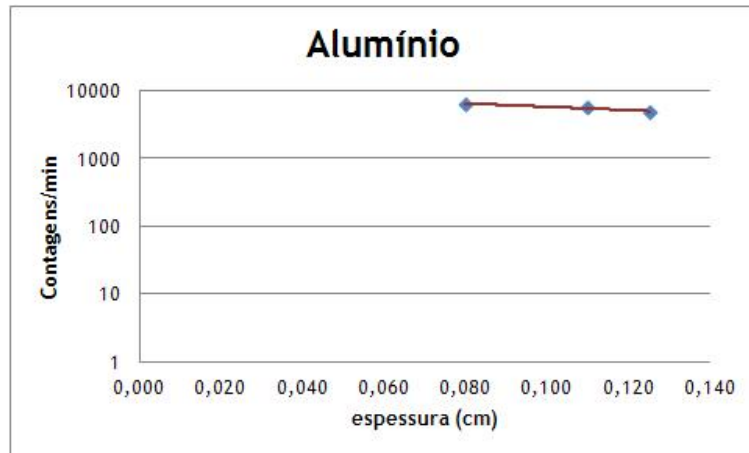


Figura 4.15: Gráfico do valor médio da taxa de contagens de ^{60}Co em função da espessura.

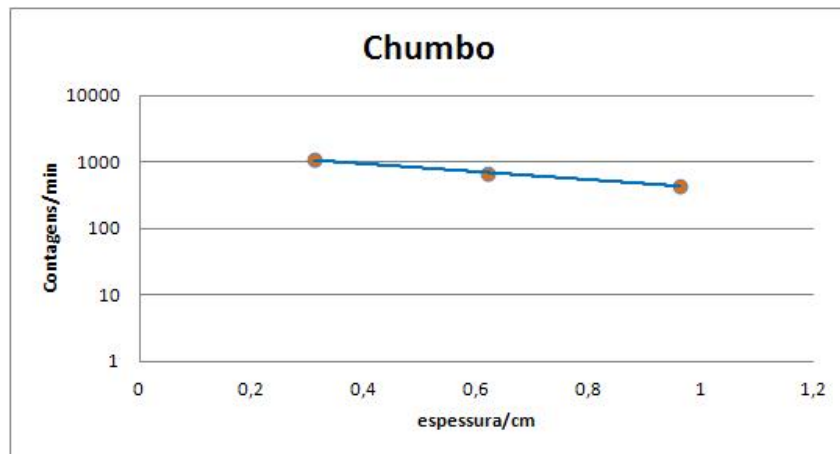


Figura 4.16: Gráfico do valor médio da taxa de contagens de ^{60}Co em função da espessura.

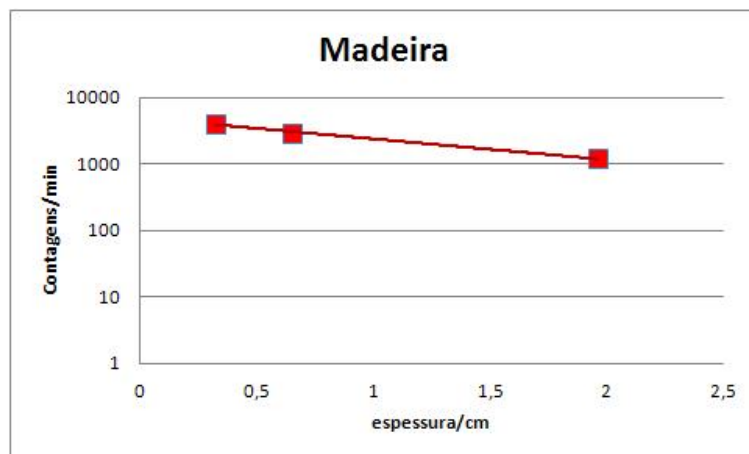


Figura 4.17: Gráfico do valor médio da taxa de contagens de ^{60}Co em função da espessura.

Conclusão

Com o aumento da utilização das radiações em medicina, assegurar a protecção adequada contínua é uma preocupação importante. Dados precisos sobre a atenuação dos fótons nos materiais de

interesse são cruciais para avaliar a eficácia de uma determinada blindagem.

verifica-se a atenuação da radiação gama ao colocarmos folhas, quer de alumínio quer de chumbo, madeira ou mesmo papel de diferentes espessuras entre a fonte e o receptor. É de referir que todas as folhas foram colocadas a uma distância mínima em relação ao detector.

A actividade foi realizada utilizando duas fontes de radiação, a ^{133}Ba e o ^{60}Co .

Para o caso da fonte de ^{133}Ba , como se pode observar através dos gráficos das figuras 4.11 até 4.14 o número médio de contagens diminui quando fazemos aumentar a espessura desse material.

No caso da fonte de ^{60}Co , conclui-se que é uma fonte muito mais activa do que a ^{133}Ba e por esse motivo os cuidados de manuseamento têm de ser maiores. Como se pode observar através dos gráficos das figuras 4.15 até 4.17 o número médio de contagens diminui quando se aumenta a espessura do material.

Conclui-se que à medida que a espessura das folhas dos diferentes materiais aumenta a atenuação da radiação gama também aumenta.

Atendendo aos resultados obtidos pode-se concluir que o melhor material para efeitos de radioprotecção da radiação gama é o chumbo.

4.5 Actividade Experimental: Detectores Plásticos de Radiação (detector CR39)

Objectivo

Determinação da concentração de radão no ar através de um detector plástico - CR39

Fundamentação teórica

A sigla CR39 significa "Columbia Resin 39", porque era a 39ª fórmula de um plástico termorrígido desenvolvido por volta em 1940. A partir de 1978, de onde datam os primeiros trabalhos publicados sobre esse detector, o CR39 passou a ser utilizado. Hoje em dia, é o detector plástico de maior eficiência dentre aqueles que são comercializados. Até ao momento da sua utilização os detectores CR39 devem ser guardas num local fechado, embrulhados numa película de alumínio, para melhor protecção.

O radão (${}^{222}_{86}\text{Rn}$), pertence ao sexto grupo e período dezoito (gases nobres) da Tabela Periódica. A sua massa atómica relativa é 222,2 e o n° atómico é 86, sendo o seu estado físico, à temperatura ambiente, gasoso [30].

A tabela periódica dos elementos químicos, com o elemento Radão (Rn) destacado por um círculo vermelho. O elemento Rn está na posição 86, no grupo 18 (gases nobres) e no período 6. A tabela mostra os elementos de número atómico 1 a 118, incluindo as séries de Lantânio e Actínio.

Figura 4.18: Radão na Tabela Periódica [32].

O radão provém do urânio e rádio presentes, em proporções variáveis, na maior parte dos solos e rochas. O tempo necessário para se reduzir a metade a radioactividade do radão ${}^{222}\text{Rn}$ é de 3,8 dias (período de semi-vida do radão). É um gás radioactivo que ao ser libertado espontaneamente das rochas e do solo mistura-se com o ar que respiramos tornando-o radioactivo. Quanto maior for a sua concentração maior é a radioactividade a que estamos expostos.

Normalmente as medições de radão requerem equipamento caro e de difícil acesso para as escolas básicas. Com esta actividade propõe-se um método simples, seguro e razoavelmente fiável para obter resultados significativos através da detecção dos decaimentos do radão. O núcleo do átomo de ${}^{222}\text{Rn}$ decai para ${}^{218}\text{Po}$, emitindo uma partícula α , (figura 4.19) que vai deixar uma marca numa placa acrílica, o detector CR39.

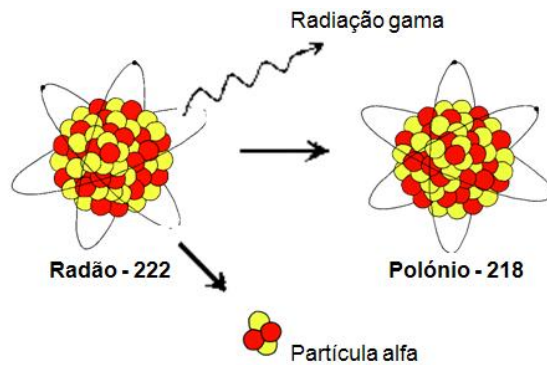


Figura 4.19: Radioatividade do radão [4].

Quando a partícula α atinge o detector plástico CR39, provoca o aparecimento de um microfuro, à semelhança do que uma bala faria numa parede, deixando um pequeno buraco ou traço nuclear. Após um tratamento químico adequado os micro-furos são ampliados e podem ser visualizados ao microscópio óptico. Podemos então facilmente contar o número de buracos deixados pelas partículas α e, com esta informação, calcular a concentração média de radão durante o tempo de exposição.

A concentração do radão é calculada através da equação:

$$C = \frac{D}{f_c t} (Bq/m^3) \quad (4.12)$$

Onde D representa a densidade de traços (tr/cm^2), C a concentração de radão (Bq/m^3), t o tempo de exposição (dias), f_c o factor de calibração ($tr.cm^{-2}/Bq.m^{-3}.d$), que é dado por: $f_c = 0,02758tr.cm^{-2}/Bq.m^{-3}.d$ [?].

A concentração de radão nas nossas casas pode variar muito ao longo do dia, e depende de vários factores incluindo o tempo, a circulação e a pressão do ar, e ainda outros efeitos sazonais. Contudo, o que é importante do ponto de vista da saúde, é a concentração média de radão. Devido a este facto, as medições de radão são realizadas durante longos períodos [30].

Material e equipamento

- Detetores CR-39;
- Caixas de plástico adequadas para irradiadores de radão ou caixas/frascos em plástico;
- Manta de Aquecimento;
- Goblé;
- Solução de Hidróxido de Sódio de concentração $240g/dm^3$;
- Termómetro;
- Pinça;
- Microscópio;
- Lâmina.

Procedimento experimental

- 1- Remove com um x-actotransparente a película transparente que protege os dois lados do detector.

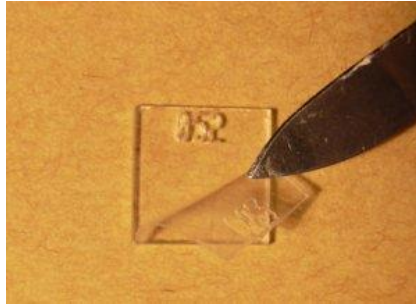


Figura 4.20: A película de ambos os lados, tem de ser removida, por exemplo com um X-acto.

- 2- Faz 2 ou 3 pequenos furos para permitir a entrada do radão nos frascos que podem ser dos rolos de fotografia.
- 3- Identifica cada detector com um número que permite a sua identificação inequívoca e coloca cada detector CR39 na tampa dos frascos "colados" com um pouco de massa Bostik.
- 3- Coloca as caixas com os detectores em locais onde seja pouco provável a sua remoção. Podem colar a caixa com fita cola de dupla face. Se possível devem ficar a uma altura da ordem de 1,50m do chão. O tempo de permanência no local deve ser entre 1 a 2 meses. Guardar um detector sem ser exposto ao radão e que deverá ser revelado ao mesmo tempo que os detectores irradiados de forma a servir de "zero"(os detectores apresentam sempre o registo de alguns impactos, mesmo quando estão guardados).
- 4- Para a revelação do detector prepara uma solução de Hidróxido de Sódio $240g/dm^3$.
- 5- Retira o detector do interior da caixa, remove com cuidado os resíduos da massa Bostik e coloca o detector num goblé.
- 6- Junta cerca de 50ml de solução de NaOH e coloque um vidro de relógio sobre o goblé.
- 7- Coloca o goblé numa manta de aquecimento e mantém a solução a uma temperatura entre 70 a 80°C durante 4h.



Figura 4.21: Revelação dos detectores CR39

- 8- Com o auxílio de uma pinça retira o detector, lava-o abundantemente com água e deixa-o secar.
- 9- Coloca um dos detectores CR39 no microscópio e escolhe uma ampliação da ordem de 100x.



Figura 4.22: Microscópio óptico com ampliação 100x

10- Foca a imagem olhando pela ocular do microscópio.

11- Com uma câmara fotográfica digital fotografa o micrómetro através da ocular do microscópio.

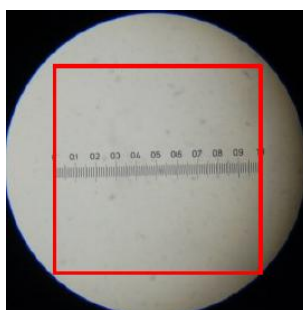


Figura 4.23: Imagem obtida microscopicamente.

12- Importa a fotografia para um programa de desenho e desenha sobre a fotografia um quadrado cujo lado será igual à dimensão da escala do micrómetro vista através do microscópio. As fotografias tiradas posteriormente deverão ter a mesma resolução que esta, que serve de escala para a construção do quadrado padrão. A fotografia irá permitir definir a área útil para contagem dos traços/impactos das partículas alfa no detetor CR39, tal como é mostrado na fotografia.

13- Procede da mesma forma para os restantes detetores CR39. Para um mesmo detector faz várias fotografias de zonas diferentes.

14- Conta o número de traços/impactos visíveis dentro da área do quadrado.

15- Obtém uma estimativa da concentração de radão em termos de n° traços/ cm^2/dia e compara os valores obtidos para diferentes localizações. Para uma conversão (grosseira) para Bq/m^3 usa o factor de calibração: $1 \text{ traço}/cm^2/dia = 0,02758 \text{ Bq}/m^3$ [33].

Análise e tratamento dos resultados

A actividade foi realizada na EBPALF na Sertã e foram colocados três detetores CR39, um na Biblioteca da Escola, outro na Sala de Professores e o último na arrecadação da sala 17 (laboratório de CFQ).

Aplicando a equação 4.12, obtém-se os valores de concentração de Radão apresentados na tabela 4.7.

Tabela 4.7: Determinação da concentração de radão no ar - detectores CR39.

Localização	Detector	t (nº dias)	D (tr/cm ²)	C (Bq/m ³)
Arrecadação sala 17	324	68	565	301
Biblioteca	235	68	450	240
Sala de Professores	496	68	413	220

Imagens do impacto do Radão sobre os detectores CR39, obtidas através de microscópio óptico com uma ampliação de 100x.



Figura 4.24: Detector CR39 não exposto à radiação.

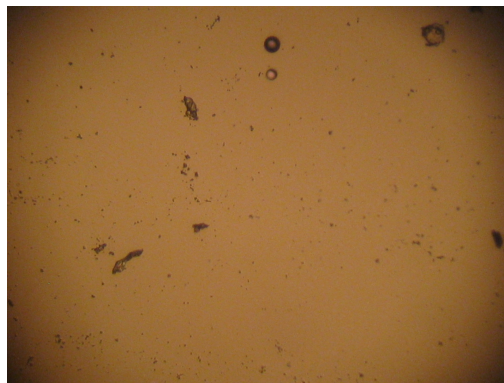


Figura 4.25: Detector CR39 localizado na Biblioteca (exposto durante 68 dias).

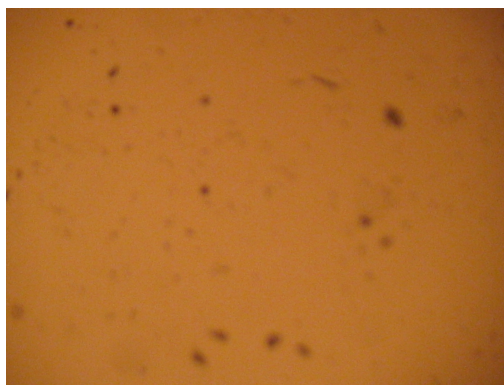


Figura 4.26: Detector CR39 localizado na sala de Professores (exposto durante 68 dias).



Figura 4.27: Detector CR39 localizado na arrecadação da sala 17 (exposto durante 68 dias).

Imagens do impacto do Radão sobre os detectores CR39, obtidas através de microscópio electrónico de varrimento.

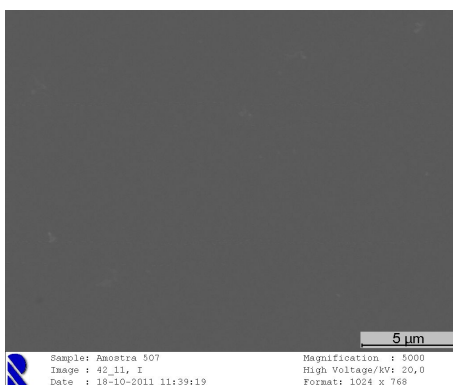


Figura 4.28: Detector CR39 que não foi exposto com uma ampliação de 5000x.

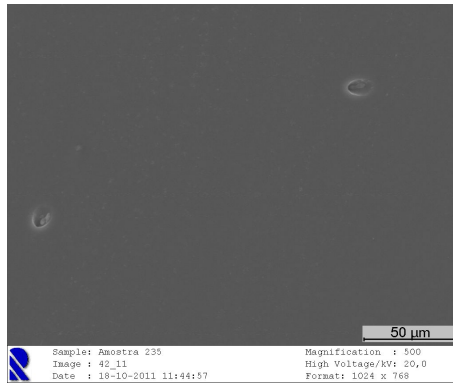


Figura 4.29: Detector CR39 localizado na Biblioteca com uma ampliação de 500x.

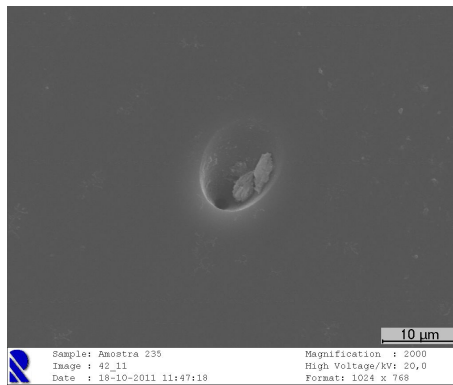


Figura 4.30: Detector CR39 localizado na Biblioteca com uma ampliação de 2000x.

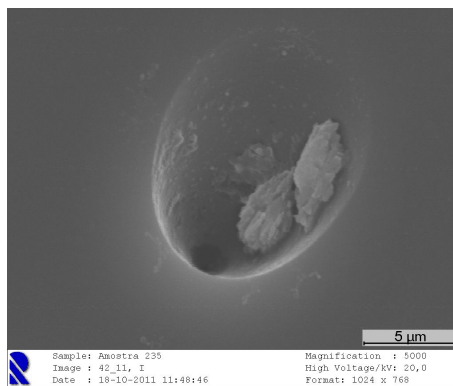


Figura 4.31: Detector CR39 localizado na Biblioteca com uma ampliação de 5000x.

Conclusão

O radão, radioactivo natural, resulta directamente da desintegração do ^{226}Ra e pode ser encontrado nas rochas, no solo, no ar e na água. Decai sucessivamente para outros isótopos radioactivos até dar origem ao isótopo mais estável, ^{206}Pb . O facto de se libertar do solo para a atmosfera tem como consequência a exposição do Homem às radiações ionizantes colocando em perigo a saúde ou podendo colocar porque só é perigoso em espaços fechados e pouco ventilados.

A legislação da União Europeia (Directiva 90/143/EURATOM) sobre a qualidade do ar fixa em $200\text{Bq}/\text{m}^3$ o limite para a concentração média anual de radão, para novas habitações e $400\text{Bq}/\text{m}^3$ para habitações já construídas. Vários países (ex: Suíça) adoptaram limites legais, nas habitações,

inferiores a $200\text{Bq}/\text{m}^3$. A legislação portuguesa, nomeadamente o Decreto-lei n.º 79/2006, de 4 de Abril, que aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos e Climatização em Edifícios, fixa em $400\text{Bq}/\text{m}^3$ o limite máximo para a concentração média anual de radão para edifícios já existentes, a sua pesquisa é obrigatória em edifícios construídos em zonas graníticas, nomeadamente nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.

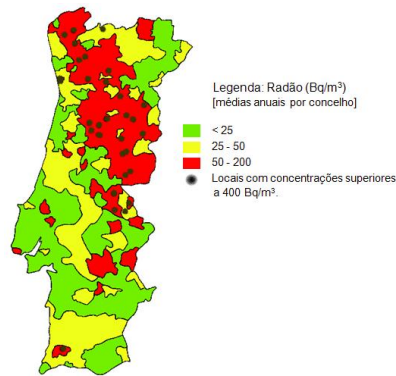


Figura 4.32: Cartografia de radão em Portugal [4].

Para alcançar estes níveis há que planear de forma mais cuidadosa a construção dos edifícios (com caixas de ar, ventilação) e dar atenção à escolha dos materiais de construção. Isto é importante, sobretudo, nas regiões de radioactividade natural mais elevada, como as regiões graníticas [4].

4.6 Actividade Experimental: Radioactividade em Plantas

Objectivo

Observar o crescimento de sementes irradiadas e relacionar o número de plantas germinadas com a dose de radiação aplicada.

Fundamentação teórica

A tecnologia de irradiação de alimentos, aprovada pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) utilizada em 37 países, é um método eficaz para melhorar a qualidade de produtos alimentícios. Utilizado em frutas frescas, grãos e vegetais, este processo previne o gemulação, retarda a maturação e aumenta o tempo de conservação dos alimentos. Com isto, fica mais fácil armazená-los e evita-se a transmissão de doenças causadas por parasitas, contribuindo para melhorar a qualidade de vida da população.

A radiação ionizante provoca efeitos directos nas células, quebrando as cadeias de ADN, que podem provocar a morte celular e/ou impedindo a multiplicação e efeitos indirectos na sequência da produção de radicais livres que por sua vez atacam o ADN ou estruturas celulares. Estas reacções evitam a produção de microorganismos produzindo um efeito de esterilização, ou de contaminação. Os alimentos irradiados não ficam radioativos [34].



Figura 4.33: Sementes de alpista e de trigo

Existem três gamas de doses de radiação que estão relacionadas com os objectivos dos tratamentos:

- 1 - Doses baixas de irradiação (até 1kGy): Radurização- inibição da germinação, retardamento da maturação, desinfestação de insectos e inactivação de parasitas.

- 2 - Doses médias de irradiação (1 a 10kGy): Radicidação - redução do número de microorganismos responsáveis pela deterioração dos alimento (aumento do tempo de prateleira, inactivação de microorganismos potencialmente patogénicos não esporulados (até níveis não detectáveis).

- 3 - Doses altas de irradiação (superior a 10kGy): Radapertização - redução do número total de microorganismos para garantir a esterelização [30].

Material e equipamento

- Tabuleiros com a mesma dimensão (altura e comprimento).
- Sensores de temperatura, luminosidade, humidade e pH.
- Sementes de trigo e alpista sem radiação e sementes irradiadas com 50Gy, 100Gy e 200Gy (Figura 4.33).
- Terra e Água.
- Regua graduada.

Procedimento experimental

1. Coloca o mesmo tipo e a mesma quantidade de terra nos tabuleiros.
2. Coloca os tabuleiros com as plantas no mesmo local para que as condições de crescimento sejam as mesmas (temperatura, luz e humidade).
3. Para cada valor de dose de radiação coloca o mesmo número de sementes na mesma área de terra.
4. Rega as sementes com o mesmo tipo e a mesma quantidade de água.
5. Faz uma leitura diária das variáveis ambientais (temperatura e luminosidade, humidade) e regista-os na tabela.
6. Para cada valor de dose de radiação, conta o número de sementes que germinaram.
7. Faz medições das alturas das plantas ao fim de 8, 12 e 20 dias, após o começo da germinação.
8. Regista os resultados em tabelas. As medidas obtidas para as alturas devem ser agrupadas em intervalos de 0,5cm.

Análise e tratamento dos resultados

1. Sementes de Alpista

A tabela 4.8 indica o número de plantas de alpista e respectivas alturas, 8 dias após começo da germinação, para os quatro tipos de sementes (0Gy, 50Gy, 100Gy e 200Gy). Indica também a altura média das plantas para cada tipo de semente.

Tabela 4.8: Altura das plantas, oito dias após germinação.

0 Gy		50 Gy		100 Gy		200 Gy	
Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)
1	0,5	2	0,5	0	0,5	1	0,5
1	1,0	1	1,0	1	1,0	0	1,0
média	0,8	média	1,0	6	1,5	3	1,5
				4	2,0	0	2,0
				3	2,5	1	2,5
				3	3,0	0	3,0
				6	3,5	0	3,5
				7	4,0	1	4,0
				2	4,5	média	1,9
				1	5,0		
				0	5,5		
				0	6,0		
				0	6,5		
				2	7,0		
				média	3,2		

A tabela 4.9 indica o número de plantas de alpista e respectivas alturas, 12 dias após começo da germinação, para os quatro tipos de sementes (0Gy, 50Gy, 100Gy e 200Gy). Indica também a altura média das plantas para cada tipo de semente.

Tabela 4.9: Altura das plantas, 12 dias após germinação.

0 Gy		50 Gy		100 Gy		200 Gy	
Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)
0	0,5	0	0,5	1	0,5	0	0,5
0	1,0	3	1,0	1	1,0	0	1,0
0	1,5	3	1,5	1	1,5	2	1,5
0	2,0	2	2,0	4	2,0	2	2,0
1	2,5	2	2,5	1	2,5	0	2,5
1	3,0	1	3,0	1	3,0	1	3,0
média	2,8	2	3,5	4	3,5	1	3,5
		média	2,0	2	4,0	2	4,0
				3	4,5	0	4,5
				3	5,0	0	5,0
				1	5,5	0	5,5
				2	6,0	0	6,0
				4	6,5	0	6,5
				2	7,0	1	7,0
				1	7,5	média	2,9
				1	8,0		
				0	8,5		
				0	9,0		
				0	9,5		
				1	10,0		
				média	4,5		

A tabela 4.10 indica o número de plantas de alpista e respectivas alturas, 20 dias após começo da germinação, para os quatro tipos de sementes (0Gy, 50Gy, 100Gy e 200Gy). Indica também a altura média das plantas para cada tipo de semente.

Tabela 4.10: Altura das plantas, 20 dias após germinação.

0 Gy		50 Gy		100 Gy		200 Gy	
Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)
1	0,5	1	0,5			0	0,5
2	1,0	2	1,0			0	1,0
3	1,5	4	1,5			0	1,5
1	2,0	1	2,0			1	2,0
média	1,3	2	2,5	2	2,5	1	2,5
7	1,3	1	3,0	1	3,0	1	3,0
		2	3,5	1	3,5	1	3,5
		1	4,0	3	4,0	1	4,0
		média	4,0	3	4,5	0	4,5
				1	5,0	1	5,0
				5	5,5	0	5,5
				3	6,0	1	6,0
				3	6,5	média	2,9
				2	7,0		
				2	7,5		
				1	8,0		
				1	9,0		
				1	10,0		
				1	10,5		
				média	3,1		

O gráfico da figura 4.34 representa a altura média das plantas de alpista por dose de radiação após 8, 12 e 20 dias.

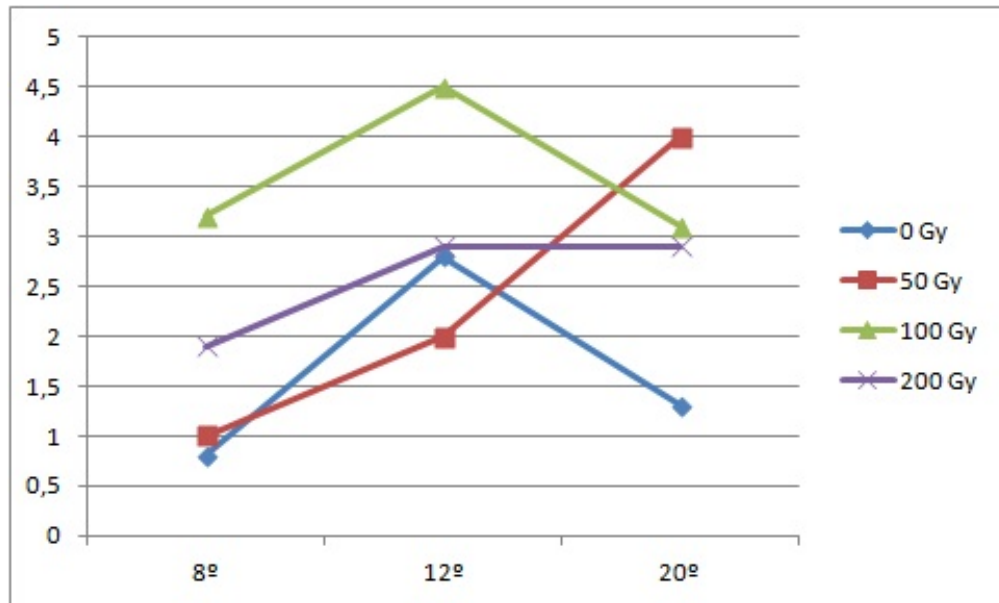


Figura 4.34: Altura média das plantas por dose de radiação.

Os Gráficos das figuras 4.35, 4.36 e 4.37 indicam as percentagens de sementes de alpista germinados após 8, 12 e 20 dias.



Figura 4.35: Percentagem de alpistas germinados após 8 dias.

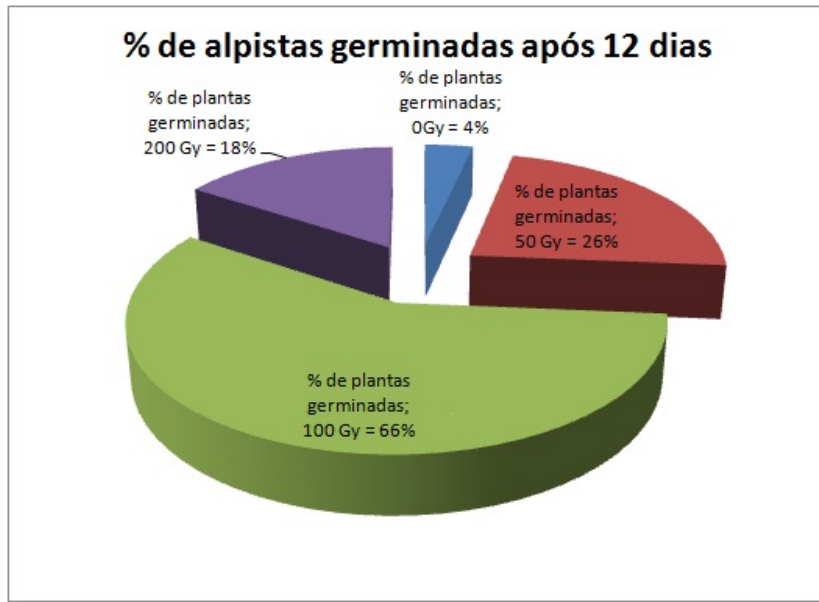


Figura 4.36: Percentagem de alpistas germinados após 12 dias.

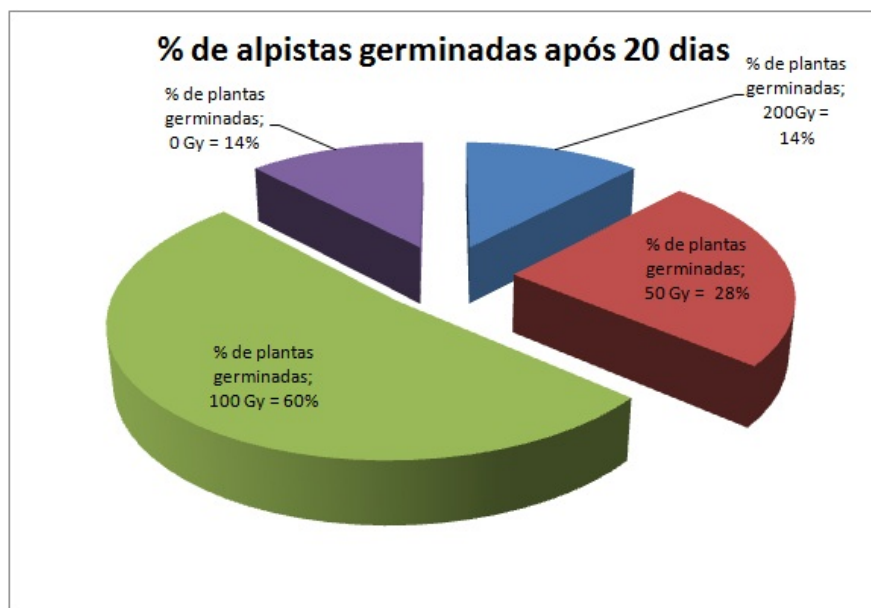


Figura 4.37: Percentagem de alpistas germinados após 20 dias.

2. Sementes de Trigo

A tabela 4.11 indica o número de plantas de trigo e respectivas alturas, 8 dias após começo da germinação, para os quatro tipos de sementes (0Gy, 50Gy, 100Gy e 200Gy). Indica também a altura média das plantas para cada tipo de semente.

Tabela 4.11: Tabela das alturas das plantas, 8 dias após germinação.

0 Gy		50 Gy		100 Gy		200 Gy	
Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)
0	0,5	1	0,5	0	0,5	3	0,5
1	1,0	0	1,0	1	1,0	5	1,0
1	1,5	1	1,5	2	1,5	2	1,5
2	2,0	0	2,0	1	2,0	0	2,0
2	2,5	1	2,5	2	2,5	0	2,5
0	3,0	1	3,0	1	3,0	1	3,0
1	3,5	3	3,5	2	3,5	média	1,1
0	4,0	1	4,0	1	4,0		
1	4,5	1	4,5	0	4,5		
1	5,0	3	5,0	0	5,0		
3	5,5	2	5,5	0	5,5		
2	6,0	3	6,0	1	6,0		
0	6,5	0	6,5	média	2,8		
1	7,0	2	7,0				
2	7,5	3	7,5				
2	8,0	0	8,0				
1	8,5	3	8,5				
2	9,0	1	9,0				
0	9,5	1	9,5				
3	10,0	1	10,0				
média	5,9	média	5,8				

A tabela 4.12 indica o número de plantas de trigo e respectivas alturas, 12 dias após começo da germinação, para os quatro tipos de sementes (0Gy, 50Gy, 100Gy e 200Gy). Indica também a altura média das plantas para cada tipo de semente.

Tabela 4.12: Tabela das alturas das plantas, 12 dias após germinação.

0 Gy		50 Gy		100 Gy		200 Gy	
Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)
						5	0,5
				3	1,0	3	1,0
2	1,5	1	1,5	1	1,5		
				2	2,0		
1	2,5	2	2,5				
2	3,0	2	3,0	2	3,0	1	3,0
4	3,5	3	3,5	2	3,5	média	0,9
2	4,0	1	4,0				
2	4,5	2	4,5				
4	5,0	2	5,0	1	5,0		
2	5,5	4	5,5	média	1,8		
1	6,0	4	6,0				
1	6,5	2	6,5				
3	7,0	2	7,0				
4	7,5	2	7,5				
1	8,0	2	8,0				
média	5,7	média	5,2				

A tabela 4.13 indica o número de plantas de trigo e respectivas alturas, 20 dias após começo da germinação, para os quatro tipos de sementes (0Gy, 50Gy, 100Gy e 200Gy). Indica também a altura média das plantas para cada tipo de semente.

Tabela 4.13: Tabela das alturas das plantas, 20 dias após germinação.

0 Gy		50 Gy		100 Gy		200 Gy	
Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)	Nº de plantas	altura (cm)
0	0,5	1	0,5	0	0,5	3	0,5
1	1,0	0	1,0	1	1,0	5	1,0
1	1,5	1	1,5	2	1,5	2	1,5
2	2,0	0	2,0	1	2,0	0	2,0
2	2,5	1	2,5	2	2,5	0	2,5
0	3,0	1	3,0	1	3,0	1	3,0
1	3,5	3	3,5	2	3,5	média	1,1
0	4,0	1	4,0	1	4,0		
1	4,5	1	4,5	0	4,5		
1	5,0	3	5,0	0	5,0		
3	5,5	2	5,5	0	5,5		
2	6,0	3	6,0	1	6,0		
0	6,5	0	6,5	média	2,8		
1	7,0	2	7,0				
2	7,5	3	7,5				
2	8,0	0	8,0				
1	8,5	3	8,5				
2	9,0	1	9,0				
0	9,5	1	9,5				
3	10,0	1	10,0				
média	5,9	média	5,8				

O gráfico da figura 4.38 representa a altura média das plantas de trigo por dose de radiação após 8, 12 e 20 dias.

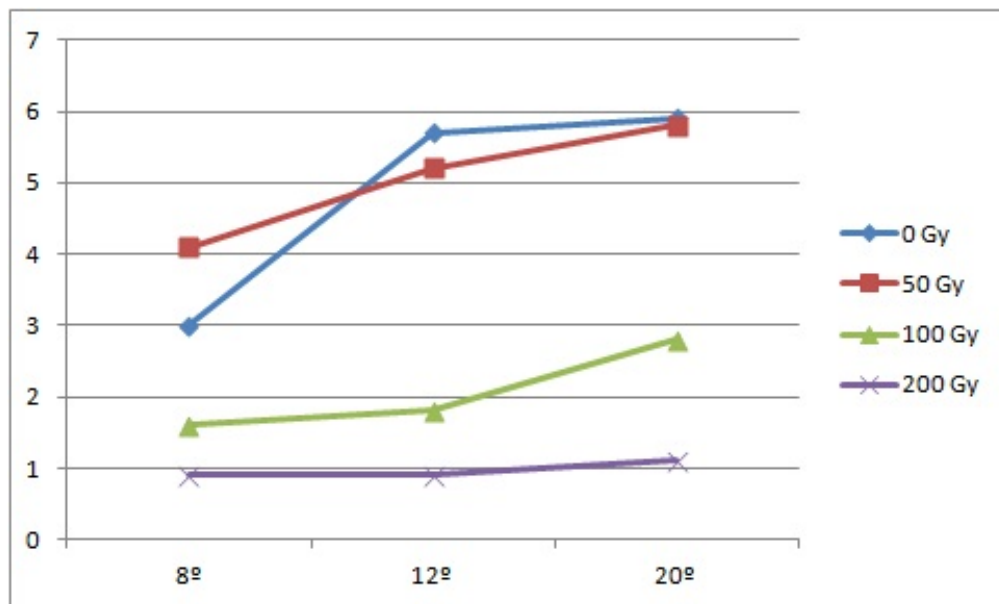


Figura 4.38: Altura média das plantas por dose de radiação.

Os Gráficos das figuras 4.39, 4.40 e 4.41 indicam as percentagens de sementes de trigo germinados após 8, 12 e 20 dias.

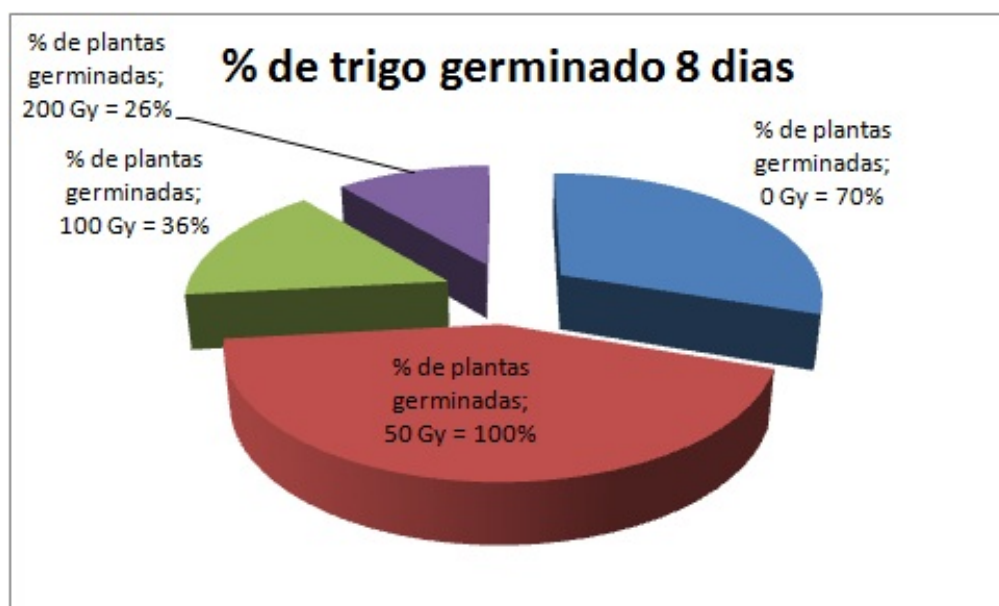


Figura 4.39: Percentagem de trigo germinados após 8 dias.



Figura 4.40: Percentagem de trigo germinados após 12 dias.

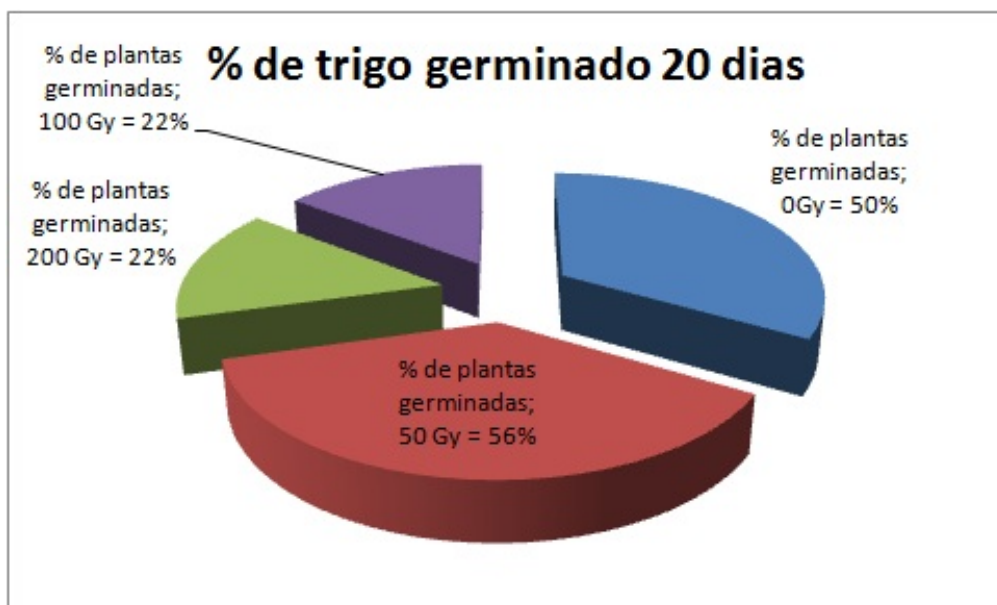


Figura 4.41: Percentagem de trigo germinados após 20 dias.

Conclusão

Através destas observações, comprova-se que as sementes de trigo e de alpista se comportam de forma diferente quando sujeitas ao mesmo tipo de radiação.

Observando o gráfico da figura 4.36 verificou-se uma diminuição da média das alturas das plantas de alpista não irradiadas e das plantas irradiadas com 100 Gy, entre o dia 12º e 20º dia, que está relacionado com o apodrecimento das mesmas.

Nas sementes de trigo, verificou-se que quanto maior foi a quantidade de radiação ionizante recebida, menor foi a altura alcançada pelas plantas. Esta conclusão é facilmente comprovada analisando o gráfico da figura 4.40, em que há uma clara diferença entre a altura das plantas que não foram submetidas a radiação, e a das plantas que foram. A única é no caso das plantas irradiadas

com 50 Gy, que têm um crescimento quase igual ao das plantas que não foram irradiadas. Os resultados obtidos podem estar relacionados com o poder inibidor da radiação ionizante no crescimento das plantas, retardando a sua germinação. Pode-se deduzir que a aplicação de uma grande dose de radiação implica uma maior redução do crescimento das plantas, bem como uma maior probabilidade de ocorrência de mutações nas mesmas, o que poderá eventualmente ter influenciado o seu crescimento.

A dose de radiação ideal, será aquela que não inibe o crescimento das plantas e que destrói os parasitas. Verificou-se que a melhor dose de radiação fornecida às plantas corresponde a 50 Gy, na medida em que, praticamente, não afecta o crescimento do trigo e da alpista.

Doses baixas de radiação não interferem no crescimento das plantas pois o seu efeito será apenas sentido pelos microorganismos parasitas que as acompanham. No entanto, doses elevadas de radiação não só eliminam esses parasitas como destroem a própria planta.

Bibliografia

- [1] David Möckli . In The Beyond; 2009 [cited 15 Outubro 2010]. Available from: <http://inthebeyond.blogspot.com/2009/11/radioatividade-algo-ser-temido.html>. xi, 2
- [2] Espectro Eletromagnético; 2007 [cited 21 Novembro 2010]. Available from: <http://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>. xi, 3
- [3] Sergio de Oliveira Trindade. Instrumentação Analítica-Radiação; 2010 [cited 15 Setembro 2011]. Available from: <http://ianalitica.wordpress.com/aplicacoes-com-analisadores-insdustriais/emissoes-atmosfericas/radiacao-ionizante/o-que-e-radiacao-ionizante>. xi, 6
- [4] AENSDF Decay Data in the MIRD(Medical Internal Radiation Dose) Format for ^{240}Pu [homepage on the Internet]. Chicago: The Association; 1991-2000 [updated 2001 Aug 23; cited 2002 Aug 12]. AMA Office of Group Practice Liaison; [about 2 screens]. Available from: http://www.google.com/imgres?q=decay+240Pu&um=1&hl=pt-PT&biw=1280&bih=624&tbm=isch&tbnid=WonbfaMTvC6fyM:&imgrefurl=http://www.orau.org/ptp/PTPbrary/library/DOE/bnl/nuclidedata/MIRPu240.htm&docid=rDoqXrsTu_GHhM&itg=1&imgurl=http://www.orau.org/ptp/PTP240_files/240pu_gs.gif&w=770&h=595&ei=0DqgTpXTIc7t0ZvR3ZgF&zoom=1. xi, 6
- [5] prof Carlos Alberto. O Modelo padrão; 2008 [cited 15 Setembro 2011]. Available from: <http://www.professorcarlos.com/2008/09/partculas-elementares.html>. xi, 7, 8, 9
- [6] As Radiações Naturais; 2011 [cited 11 Maio 2011]. Available from: <http://tomdafisica.blogspot.com/2011/04/as-radiacoes-naturais.html>. xi, 9
- [7] Actividade de uma fonte radioactiva; 2009 [cited 11 Outubro 2011]. Available from: http://profs.ccems.pt/PauloPortugal/PHYSICA/Radioactividade/Actividade_fonte_radioactiva.htm. xi, 10, 11
- [8] Thiago Prudêncio de Oliveira. Portal do professor; 2008 [cited 9 Novembro 2010]. Available from: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=253>. xi, 13
- [9] Efeito Fotoelétrico e Efeito de Compton; 2011 [cited 11 Setembro 2011]. Available from: http://www.google.com/imgres?imgurl=http://3.bp.blogspot.com/-8Srh-zkkCKU/TbhexPLel4I/AAAAAAAAAFU/pCp-UOpLEwc/s1600/compton.jpg&imgrefurl=http://fisicasimples2.blogspot.com/&h=395&w=522&sz=40&tbnid=g6k6xApRHfGvzM:&tbnh=90&tbnw=119&prev=/searchfeito+de+compton&docid=MQuvZox1eNFryM&hl=pt-PT&sa=X&ei=34mfTonOKsaKhQf_wbD1BA&sqi=2&ved=0CDYQ9QEwBA. xi, 14
- [10] Descoberta dos raios X; 2007 [cited 11 Outubro 2011]. Available from: <http://efisica.if.usp.br/moderna/raios-x/raios-x/>. xi, 16
- [11] Imagem:Roentgen-x-ray-von-kollikers-hand.jpg; 2011 [cited 27 Janeiro 2011]. Available from: <http://saber.sapo.ao/wiki/Imagem:Roentgen-x-ray-von-kollikers-hand.jpg>. xi, 16
- [12] The Atomic Nucleus; 2011 [cited 27 Janeiro 2011]. Available from: http://www.antonine-education.co.uk/New_items/PRO/Towards.htm. xi, 17
- [13] Ventura G, Fiolhais C, Fiolhais M, Paixão JA. 12F. Texto Editores; 2005. xi, 14, 17, 18

- [14] International Atomic Energy . New Symbol Launched to Warn Public About Radiation Dangers; 2011 [cited 10 Março 2011]. Available from: <http://www.iaea.org/newscenter/news/2007/radiationsymbol.html>. xi, 19
- [15] RAulas de Física - Felipe Novaes; 2008 [cited 11 Maio 2011]. Available from: <http://aulasdefisicafelipe.blogspot.com/>. xi, 23
- [16] GEIGER-MÜLLER DETECTOR; 2009 [cited 9 Setembro 2011]. Available from: http://www.tpub.com/content/doe/h1013v2/css/h1013v2_66.htm. xi, 23
- [17] Cavaleiro NG, Beleza D. FQ Viver Melhor na Terra - Guia do professor. Edições Asa; 2008. xi, 24, 25
- [18] física (radio)activa; 2009 [cited 21 Setembro 2011]. Available from: <http://fisicaradioactiva.blogspot.com/p/o-radao.html>. xi, 28
- [19] Alunos da ESCM. O radão na tabela periódica; 2008 [cited 12 Janeiro 2011]. Available from: <http://radaoareaprojecto.blogspot.com/2008/05/o-rado-na-tabela-peridica.html>. xi, 44
- [20] ITN, Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear. Radão, um gás radioactivo de origem natural; 2011 [cited 20 Setembro 2011]. Available from: <http://www.itn.pt/>. xi, xii, 3, 45, 51
- [21] Maciel N, Gradim MM, Campante MJ, Villate JE. Eu e a Física 2ª parte - 12º ano. Porto Editora; 2005. 2, 5
- [22] Martins A, Rodrigues B. Física Experimental, 1ª edição. Editorial Presença, Lisboa; 1994. 5, 13, 18
- [23] Martin BR, Shaw G. Particle Physics. J. Wiley Sons, Inc.; 1992. 5
- [24] Jelley NA. Fundamentals of Nuclear Physics. Cambridge Press; 2007. 9
- [25] Krane K, Wiley J. Introductory Nuclear Physics. J. Wiley Sons, Inc.; 1984. 10
- [26] Mayer-Kuchuk. Física Nuclear. Fundação C. Gulbenkian; 1999. 17
- [27] Hodgson PL, Gadioli E, Erba G. Introductory Nuclear Physics. Oxford Science Publications; 1987. 17
- [28] Lilley J. Nuclear Physics: principles and applications. J. Wiley Sons, Inc.; 2001. 19
- [29] Abreu MC, Matias L, Peralta LF. Física - 12º ano. Edições Asa; 2005. 22
- [30] Cavaleiro N, Beleza D. FQ Sustentabilidade na Terra. Edições Asa; 2007. 25
- [31] Cavaleiro MNG, Beleza D. FQ Viver Melhor na Terra. Edições Asa; 2008. 25
- [32] Luis Peralta. Projecto Radiação Ambiente; 2010 [cited 15 Outubro 2010]. Available from: <http://www.lip.pt/radao>. 26, 28, 44, 45, 52
- [33] Campos MP, Martins EW, editors. Calibration of the Solid State Nuclear Track Detector CR-39 for Radon Measurements, 2007 International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2007. Santos, SP, Brazil: Associação Brasileira de Energia Nuclear - ABEN; 2007. 47
- [34] Cnen. Irradiação de alimentos; 2011 [cited 2 Setembro 2011]. Available from: <http://www.cnen.gov.br/ensino/aplic-soc.asp>. 52

Apêndice A

Anexos

A.1 Tutorial do software do Sistema de aquisição de dados associado a um contador Geiger-Müller

- 1- Instala-se no computador a pasta de software GeigerWin95
- 2- Liga-se o contador GM a uma das portas USB do computador.
- 3- Abre-se a pasta GeigerWin95 e clica-se no icone da aplicação. O Programa correrá no computador (Figura A.1).



Figura A.1: Ícone da aplicação do software.

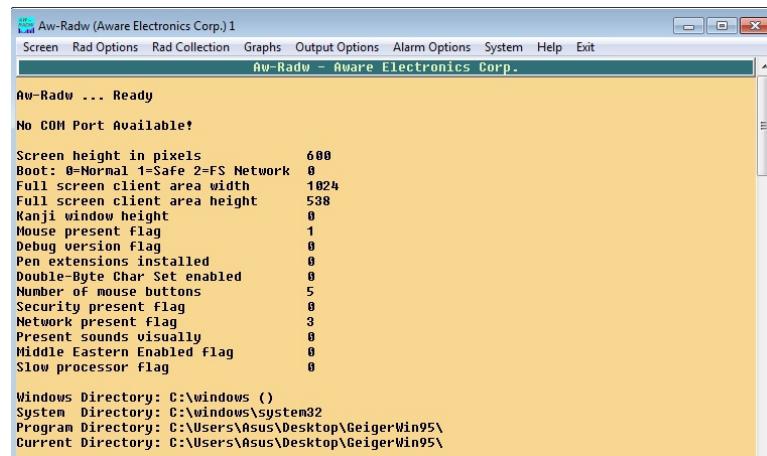


Figura A.2: Programa Aw-Radw.

4- As unidades de medida são definidas em contagens/min

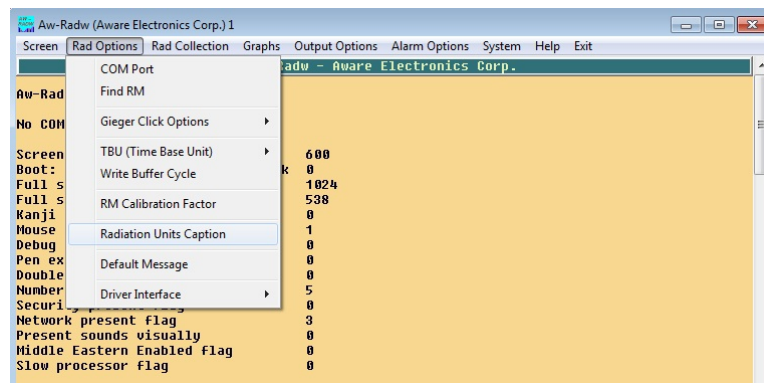


Figura A.3: Definição das unidades a utilizar.

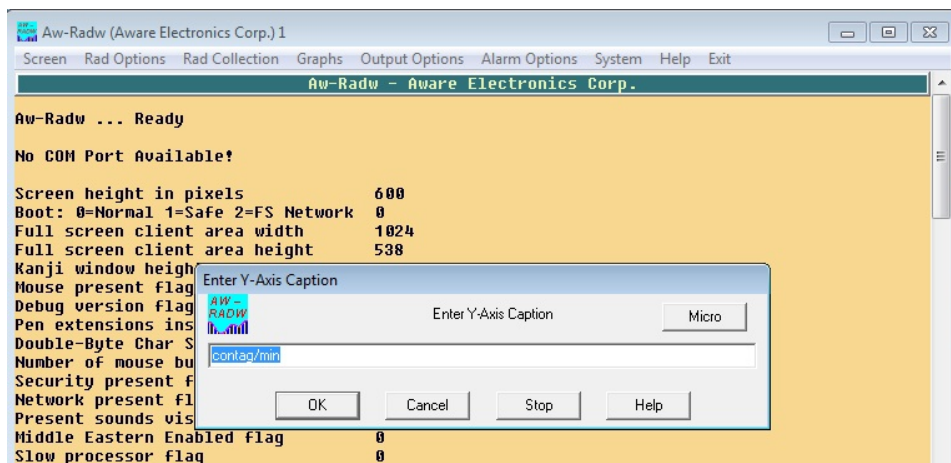


Figura A.4: Unidades contagens por minuto.

5- O documento deve ser guardado em formato de texto.

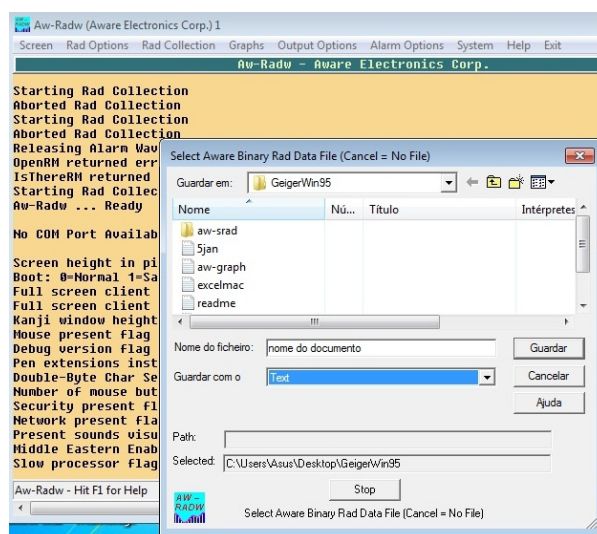


Figura A.5: Guardar o documento em ficheiro de texto

6- Para dar início às contagens é necessário clicar no botão start.

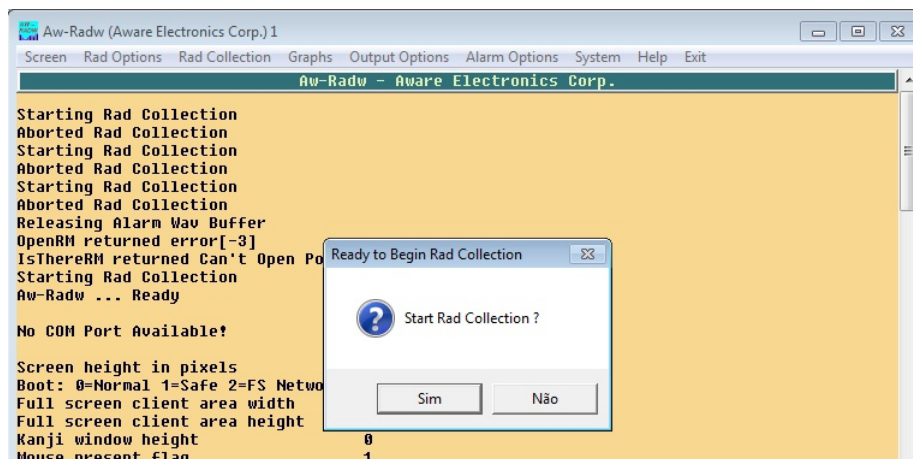


Figura A.6: Início das contagens

7- Leitura dos valores das contagens.



Figura A.7: Apresentação das contagens

8- Valores obtidos da contagem realizada.

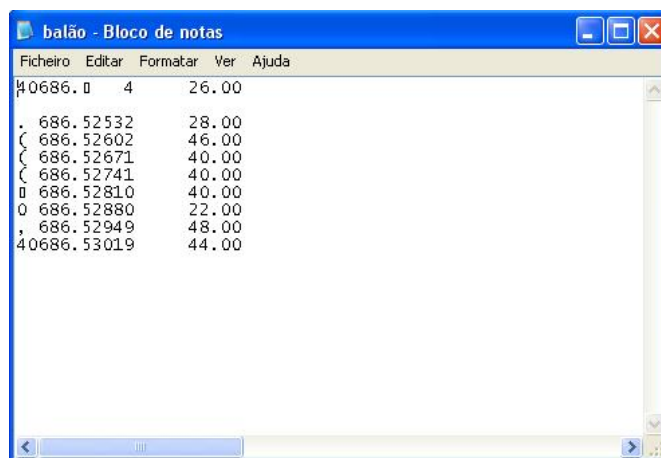


Figura A.8: Apresentação e leitura dos valores