



Universidade do Algarve

Faculdade de Ciências e Tecnologia

**O ESTUDO DAS RADIAÇÕES IONIZANTES NO
3º CICLO DO ENSINO BÁSICO**

E UMA APLICAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS EM MEDICINA NUCLEAR

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do
grau de Mestre em Física, Especialização Física para Ensino

Marco Paulo da Silva e Quinteiro

Faro, 2005

2009

UNIVERSIDADE DE ALGARVE
DEPARTAMENTO DE DOCUMENTAÇÃO
06 10 05 63 170
37 013 33/54
2009

1

Nome: Marco Paulo da Silva e Quinteiro

Departamento de Física

Orientadora: Prof.^a Doutora Maria Conceição Abreu

Data: 06/05/2005

Título da dissertação: O estudo das radiações ionizantes no 3º ciclo do ensino básico E uma aplicação de novas tecnologias em medicina nuclear

Júri:

Professora Doutora Maria Conceição Abreu


Professor Doutor Luís Filipe Garcia Peralta

Professor Doutor José Luís Almaguer Argáin

Declaração de Originalidade


Marco Paulo da Silva e Quinteiro declara que todo o trabalho desenvolvido nesta dissertação de mestrado é da sua autoria e inteira responsabilidade.

O Mestrando



(Marco Paulo da Silva e Quinteiro)

O Orientador



(Prof.ª Doutora Maria Conceição Abreu)

Agradecimentos

Gostaria de deixar os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o êxito deste trabalho, e em especial:

- À minha orientadora, Professora Doutora Maria Conceição Abreu, pela sua orientação, atenção, apoio e disponibilidade ao longo de todo este período.
- A toda a equipa do LIP-Algarve, pela cooperação e amizade e em especial ao Professor Doutor Pedro Rato e ao Dr. Patrick Sousa pelo seu apoio sempre que necessário.
- À minha mãe.
- À Silvia e ao Bernardo.

Resumo

Esta dissertação partiu de dois princípios de base, sendo que um deles é centrado nos alunos e o outro nos professores. Entendemos, pois, que para ensinar alguns dos conceitos chave da física contemporânea, como neste caso da física das radiações, é necessário que as abordagens ao tema sejam motivadoras e facilmente assimiláveis pelos alunos. Por outro lado para se ensinar esta matéria é necessário que o professor domine bem os conceitos de base da física das radiações.

No que diz respeito ao ensino do tema, procurámos delinear formas alternativas de motivação dos alunos em sala de aula, recorrendo às tecnologias da informação e propondo uma análise do tema das Radiações Ionizantes à luz dos interesses dos alunos enquanto cidadãos. Todas as aplicações informáticas foram planificadas de forma a colocar a ênfase no ensino pela descoberta, seja esta guiada ou não, usando para isso algumas actividades diversificadas e adequadas.

No que diz respeito ao fundamento teórico são fornecidos materiais que permitam àqueles que tenham algumas lacunas em termos conceptuais na física das radiações e, mais concretamente, no caso da física médica, actualizarem os seus conhecimentos e aplicá-los de forma eficaz nas suas aulas. Por outro lado, pretendemos que a descrição de toda a experiência adquirida pela nossa participação num projecto científico em curso sirva de incentivo para a participação mais frequente dos docentes em projectos de pesquisa em colaboração com centros de investigação. Considerando *que só quem faz pode ensinar*, é indispensável que os docentes se actualizem com frequência, e que não se limitem aos estudos teóricos. É fundamental que participem em projectos científicos, experimentando e produzindo.

Com esta dissertação gostaríamos ainda de contribuir para a implementação do ensino de alguns conceitos chave da física médica nas escolas, de forma a que o ensino não se fique apenas pelos tempos ancestrais da física clássica e se dê uma maior ênfase a alguma da física contemporânea.

Abstract

This dissertation is based on two key principles: one of them focused on the pupils and the other one on the teachers. In our opinion, teaching some of the key concepts of contemporary physics, as it is the case of radiation physics, requires the use of approaches that are stimulating and easily assimilable by pupils. On the other hand, teaching this particular matter implies the teacher's solid knowledge of the fundamental concepts of radiation physics.

In our work, we have tried to conceive alternative ways of motivating pupils in the classroom, using information technology and suggesting an analysis of the theme "Ionizing Radiations" centered on the pupils' interests as citizens. All the computer applications were planned to make the teaching/learning process a process of discovering (guided or not) through the use of a group of diversified and suitable activities.

In the domain of theory, we have gathered and structured materials, mainly in the area of medical physics, that will provide teachers the necessary knowledge to teach this subject matter efficiently. In the present dissertation, we also describe our participation in a scientific project in course, as well as the results from this participation since one of the objectives of this work is to encourage a more frequent involvement of teachers in research projects of investigation centers. Considering *that only those who do can teach*, it is fundamental that teachers frequently revise and update their theoretical and practical knowledge. The partaking in scientific projects, experimenting and producing, is essential.

We hope that this dissertation would be a contribute to the implementation of the teaching of some of the key concepts of medical physics, so that syllabuses can focus more on contemporary physics and less on the ancestral classical physics.

Índice

	Pág.
I- Introdução	1
1. Estrutura da dissertação	4
II- Desenvolvimento dos Tópicos Científicos	5
1. Uma cronologia de descobertas	5
2. Identificação dos principais conceitos a desenvolver	7
2.1. Radiações ionizantes.....	8
2.1.1. Desintegração radioactiva	8
2.1.2. Processos de interacção ionizante dos fotões com a matéria.....	15
2.1.3. Efeitos biológicos das radiações ionizantes	19
3. Aplicações médicas	25
3.1. Radiologia e equipamentos de raios X	25
3.1.1. Tomografia Computadorizada (TC)	29
3.1.2. Atenuação dos raios X nos tecidos biológicos	30
3.2. Medicina Nuclear	32
3.2.1. Formação da imagem	34
3.2.2. Tipos de detectores mais usuais	37
3.2.3. Tipos de radiofármacos.....	39
3.2.4. Tomografia de emissão de fotão único (SPECT)	40
3.2.5. Tomografia de Emissão de Positrões (PET)	42
3.3. Radioterapia	46
3.3.1. Princípios básicos	46
3.3.2. Eficácia das radiações na eliminação das células cancerígenas	47
3.3.3. Geração de radiação de alta energia nos hospitais – os aceleradores de partículas	49
3.3.4. Terapia com feixe de fotões	53
3.3.5. Terapia com feixe de electrões	54
3.3.6. Terapia com feixes de hadrões	55
3.3.7. Sintomas num paciente após tratamento	60
3.3.8. Intercâmbio entre médicos e físicos nos procedimentos oncológicos	60
4. Uma aplicação das novas tecnologias em Medicina Nuclear	
4.1. Novos detectores e sistemas de processamento de sinal e dados	61
4.2. Descrição e importância do projecto ISPA	64
4.3. Apresentação do contributo pessoal no projecto	67
4.4. Benefícios da participação no projecto ISPA	76

III – Contributo Pedagógico	78
1. A física médica como forma de introduzir conceitos da física moderna	78
2. O conhecimento dos alunos sobre radiações ionizantes	79
3. Análise das orientações curriculares para o 3º ciclo do ensino básico	89
4. Descrição e análise do currículo Inglês e Espanhol sobre o ensino das interacções das radiações com a matéria	93
5. Proposta de planeamento do ensino do tema “Radiações Ionizantes”	97
6. Abordagens alternativas no âmbito do tema radiações ionizantes	98
6.1. Modelo da aprendizagem auto-regulada	100
6.2. Um contributo para a aprendizagem Auto-Regulada em Física das Radiações	103
6.3. Resultados obtidos com a utilização da página <i>html</i>	109
IV – Conclusão	121
1. Trabalho futuro	124
Referências Bibliográficas	125
Bibliografia Comentada	128
Anexos	130

I - Introdução

A sociedade necessita de cidadãos com uma preparação científica globalizante a nível de ensino básico que lhes permita, caso não seja aprofundada no ensino secundário, ter um conhecimento e compreensão suficientes para entender e seguir um debate científico público ou tomar posições em questões que a Ciência ou a Tecnologia colocam. Não se pode ignorar que toda a formação científica formal de uma grande parte das pessoas é adquirida até ao final do 3º ciclo do ensino básico. Como tal, é fundamental proporcionar aos alunos que concluem esse nível de ensino uma «literacia científica básica» que lhes permita uma compreensão do mundo onde vivem sem preconceitos ou superstições. Estas competências são tanto mais indispensáveis, na medida em que os cidadãos têm acesso a muita informação e em que capacidade de formular e emitir uma opinião é uma questão de cidadania. O conhecimento científico tem facultado o desenvolvimento de uma enorme variedade de artefactos e técnicas. É, portanto, fundamental que um cidadão cientificamente literado entenda que os riscos inerentes a algum desses artefactos e técnicas não invalidam a sua aplicação na resolução de problemas como, por exemplo, o uso das radiações ionizantes no âmbito da Medicina (a nível de diagnóstico e de terapêutica), aplicação essa que será desenvolvida com particular ênfase neste trabalho.

O uso das radiações ionizantes está tão generalizado na nossa sociedade que foi com grande estranheza que recebemos a notícia de que o tema “radiações e ambiente” tinha sido retirado das novas orientações curriculares para o 3º ciclo do ensino básico. No entanto, esse tema poderá continuar a ser estudado a nível de terceiro ciclo e até com alguma profundidade, devido ao facto de ser um dos temas de articulação com a disciplina de Ciências Naturais. Num número considerável de escolas básicas, foi

decidido formar uma disciplina de enriquecimento curricular em que os professores de Ciências Físico-Químicas e de Ciências Naturais formam um par pedagógico num bloco semanal de 45 minutos (esse tempo deverá ser atribuído a uma das disciplinas, podendo a escola optar por atribuí-lo a ambas, mas em regime de par pedagógico). Nesse tempo lectivo serão desenvolvidos projectos de interesse científico que envolvam conceitos abordados nas duas disciplinas, âmbito em que o estudo do tema das radiações seria bastante pertinente.

A presente dissertação começa com uma abordagem teórica, mas acessível, sobre conceitos fundamentais na área do estudo das radiações ionizantes, a se segue um esclarecimento relativamente às suas aplicações, no qual se enfatiza as aplicações na Medicina.

Esta dissertação descreve igualmente o trajecto percorrido por um professor sem formação na área que para além dos conhecimentos teóricos retirados da literatura integrou-se numa equipa de investigação contribuindo ao nível da automatização de uma mesa *scanner*, o que implicou em primeiro lugar tomar conhecimento do projecto de investigação em Medicina Nuclear “Detectores de alta resolução para raios gama” e seus desenvolvimentos e em segundo aprender uma ferramenta muito relevante para o ensino experimental das Ciências que é o LabView. A participação neste projecto situou-se ao nível do desenvolvimento de uma aplicação informática, em *LabView*, no âmbito da interface gráfica de controlo de uma mesa xy, que movimenta, nesta fase, o corpo de um rato, com o objectivo de formar a imagem bidimensional de alguns dos seus órgãos internos.

Pretendemos também com esta dissertação facilitar a aprendizagem e estimular o interesse de alunos e professores pelo estudo deste tema, pelo que são sugeridos vários materiais de apoio que permitem aos professores motivar os alunos para Física,

recorrendo a algumas estratégias alternativas ao ensino tradicional, como o uso das tecnologias da informação e multimédia, e o recurso a algumas actividades de carácter mais lúdico, possíveis de realizar na sala de aula.

1. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma:

No **primeiro capítulo**, encontram-se a introdução ao tema e a apresentação da estrutura da dissertação.

No **segundo capítulo**, identificam-se os principais conceitos a desenvolver – aqueles que servirão como um fundamento teórico em termos conceptuais na física das radiações e, mais concretamente, no caso das aplicações à física médica. Será também descrita toda a experiência adquirida e benefícios retirados pela nossa participação num projecto científico que envolve radiações aplicadas a um caso de física médica, servindo também de incentivo para a participação mais frequente dos docentes em projectos científicos.

No **terceiro capítulo**, é analisado o currículo português no que diz respeito ao ensino da física das radiações, sendo comparado com os currículos Inglês e Espanhol. São também analisados vários estudos que retratam, em termos gerais, o conhecimento da população portuguesa em assuntos que envolvam radiações. Neste capítulo é destacada também a importância que a física médica poderá ter como forma de introduzir conceitos de física moderna que tantas vezes são esquecidos nos currículos portugueses. Sendo a teoria quântica um assunto pouco abordado nos currículos portugueses (provavelmente devido à sua complexidade), são analisadas algumas concepções alternativas de ensino - como é o caso da aprendizagem auto-regulada, e é construída uma ferramenta de trabalho sob a forma de uma página *html* com animações em *Flash*.

No **quarto capítulo**, são expostas as conclusões obtidas e apresentadas propostas para futuros trabalhos.

II – Desenvolvimento dos Tópicos Científicos

1- Uma cronologia de descobertas

O conhecimento sobre radiações ionizantes tem pouco mais de um século. Desde o início do século XX assistimos a um enorme progresso científico e tecnológico que escolhemos para iniciar o trabalho e que será descrito neste ponto numa perspectiva histórica e em linhas necessariamente gerais.

Os primeiros passos nesta matéria foram dados por Wilhelm Röntgen em 1895 com a descoberta dos raios-X (tendo ganho, devido a essa descoberta, o Prémio Nobel da Física, em 1901), seguido por Antoine Becquerel em 1896, que descobriu a radioactividade de materiais como o urânio (com os seus estudos recebeu o Prémio Nobel da Física de 1903, em conjunto com o casal Curie). Em 1897 Joseph Thomson descobriu o electrão. Os estudos de Becquerel foram, de certa forma, completados por Pierre e Marie Curie em 1898, que pela primeira vez isolaram o elemento rádio. Decorria o ano de 1899 quando Ernest Rutherford descobriu a radiação alfa e beta (o seu trabalho foi distinguido com o Prémio Nobel em 1908). No ano seguinte (1900), Max Planck avança com a teoria quântica, tendo o fisico francês Paul-Ulrich Villard descoberto os raios gama no mesmo ano. A teoria da radioactividade é avançada por Rutherford e Frederick Soddy, em 1904, após investigação da radioactividade do elemento tório. No ano seguinte (1905), Einstein colocou em questão a teoria clássica da luz, propondo uma nova teoria quântica sobre o efeito fotoeléctrico, teoria esta que hipotizava que a energia radiante estaria quantizada em pacotes concentrados (a que mais tarde se chamou fotões). O contador de Geiger foi inventado durante o ano de

1908 por Hans Geiger e Marsden Muller. A existência do núcleo atómico foi comprovada por Rutherford (1911-1913), por meio de várias experiências que envolveram a dispersão de partículas alfa em folhas de ouro. Ao calcular a distribuição angular das partículas desviadas, admitindo que a dispersão era provocada por um potencial de Coulomb puro, Rutherford deitou por terra o modelo atómico de Joseph Thompson que previa uma distribuição homogénea de cargas dentro do átomo neutro e demonstrou que teria de existir um núcleo denso onde estaria concentrada a carga positiva dos átomos. A natureza corpuscular da radiação foi confirmada em 1923 pelos resultados experimentais de Compton, cuja interpretação levou à postulação de que os fótons (do feixe de raios X usados nas experiências) colidiam com electrões livres de um alvo como duas bolas de bilhar. Schödinger, em 1925, revolucionou a Mecânica Quântica ao estabelecer as leis do movimento ondulatório, a que as partículas de qualquer sistema microscópico obedecem. A partir dos anos 30, a evolução foi ainda mais célere. Destacam-se neste processo evolutivo a construção do primeiro acelerador electrostático por Van de Graaff (1931) e a construção do primeiro acelerador ciclotrão por Lawrence e Livingston (1932). No mesmo ano de 1932, é feita a descoberta do neutrão por James Chadwick, tendo também no mesmo ano Vladimir Zworykin criado o microscópio electrónico. Em 1933 é descoberta a antipartícula do electrão, o positrão, por Carl Anderson, em experiências com raios cósmicos. No ano seguinte (1934), a radioactividade artificial é criada por Frédéric e Irene Joliot Curie. Durante o ano de 1939, é descoberta a fissão nuclear por Otto Hahn e Fritz Strassmann. A primeira reacção nuclear em cadeia controlada é realizada por Enrico Fermi, que permitiu a construção do primeiro reactor nuclear no ano de 1942. Com a descoberta e desenvolvimento dos aceleradores de partículas o ritmo de descobertas aumentou, uma vez que se tornou possível realizar experiências e aplicações até aí impensáveis. Em

1948 os alemães M. Mayer, J. Haxel, O. Jensen e H. Suess estabeleceram o modelo de camadas para os núcleos que ainda hoje é válido. Em 1964, Murray Gell-Mann descobre os quarks, constituintes dos hádrons.

Nos dias que correm prossegue-se o estudo do comportamento do núcleo, dos seus constituintes, das propriedades de muitas partículas e a análise das forças existentes entre elas, sendo ainda muitas as questões em aberto.

2- Identificação dos temas fundamentais a desenvolver

Com o objectivo de contribuir para o ensino das radiações no 3º ciclo do ensino básico, foram identificados dois temas fundamentais que se referem a radiações ionizantes e que consideramos merecerem uma maior ênfase devido à sua importância neste projecto e abordagem nos meios de comunicação. Esses temas são: Radiação X e γ . Serão também realçadas as aplicações destas radiações ionizantes na Radiologia e na Medicina Nuclear.

2.1. Radiações ionizantes

De um modo geral, é correcto dizer-se que radiações ionizantes são aquelas capazes de produzir ionização na matéria, isto é “arrancar” um electrão no átomo, e nomeadamente em estruturas biológicas. Para ionizar os átomos mais frequentes nas moléculas orgânicas serão necessárias energias mínimas, que variam entre 11 e 14 eV (Pisco, J.M. 1999). De acordo com esta definição, são radiações ionizantes as partículas α , β , neutrões e as radiações de pequeno comprimento de onda (alta energia) como as γ , X e UV(raios ultravioleta). No caso particular das radiações X e γ , a ionização deve-se aos electrões que são libertados após as interacções primárias dos fotões com os átomos do meio, seguindo-se a ionização secundária dos electrões com os outros electrões do meio até perderem a sua energia.

2.1.1. Desintegração radioactiva

Se o núcleo de um determinado nuclídeo se encontrar numa situação de instabilidade, seja por ter um excesso de protões ou de neutrões, ou excesso de ambos, tende a transformar-se noutro nuclídeo mais estável. A este processo de transformação nuclear em que é alterada a proporção entre protões e neutrões dá-se o nome de desintegração radioactiva. Esta tendência de os núcleos instáveis se desintegrarem será maior ou menor conforme a instabilidade nuclear em causa. Cada núcleo é caracterizado por uma probabilidade de desintegração bem definida. O estudo quantitativo dos processos de desintegração é de natureza estatística devido à origem quântica do fenómeno, pois

incide não sobre um só núcleo, mas sobre um grande número de núcleos instáveis. Trata-se portanto de determinar o número de desintegrações nucleares que ocorrem, por unidade de tempo, numa amostra radioactiva.

Devido às desintegrações que vão acontecendo ao longo do tempo, o número de núcleos instáveis contidos numa amostra (ou fonte) radioactiva vai diminuindo. A experiência mostra que o número dessas desintegrações num dado instante é proporcional ao número de núcleos instáveis existentes na amostra radioactiva, podendo-se representar esse facto pela seguinte equação diferencial:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N,$$

em que N denomina o número de núcleos instáveis existentes na amostra, num determinado instante, logo $\frac{dN}{dt}$ é a variação do número de núcleos instáveis. O factor λ

é a constante de desintegração do radionuclídeo em estudo, representando portanto uma probabilidade de este se desintegrar num dado intervalo de tempo, podendo ser expresso em s^{-1} .

A lei da desintegração radioactiva obtém-se integrando a equação anterior,

$\int_0^N \frac{dN}{N} = -\int_0^t \lambda dt$, verificando-se que a solução é do tipo exponencial:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

onde N_0 representa o número inicial de núcleos na amostra (para o instante $t = 0$).

A partir da expressão anterior ainda se pode determinar o período de semidesintegração (ou tempo de meia-vida, $T_{1/2}$) de um radionuclídeo, ou seja, o intervalo de tempo em que o número de núcleos instáveis se reduz a metade do seu valor inicial. Substituindo

$N = \frac{N_0}{2}$ e considerando $\lambda = \frac{1}{\tau}$, em que τ representa o tempo médio que um núcleo

leva a desintegrar-se:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\frac{T_{1/2}}{\tau}} \Leftrightarrow T_{1/2} = \tau \ln 2 \Leftrightarrow T_{1/2} = 0,693\tau$$

O gráfico 1.1. mostra a lei do decaimento radioactivo para uma substância que apresenta um período de semidesintegração de duas horas:

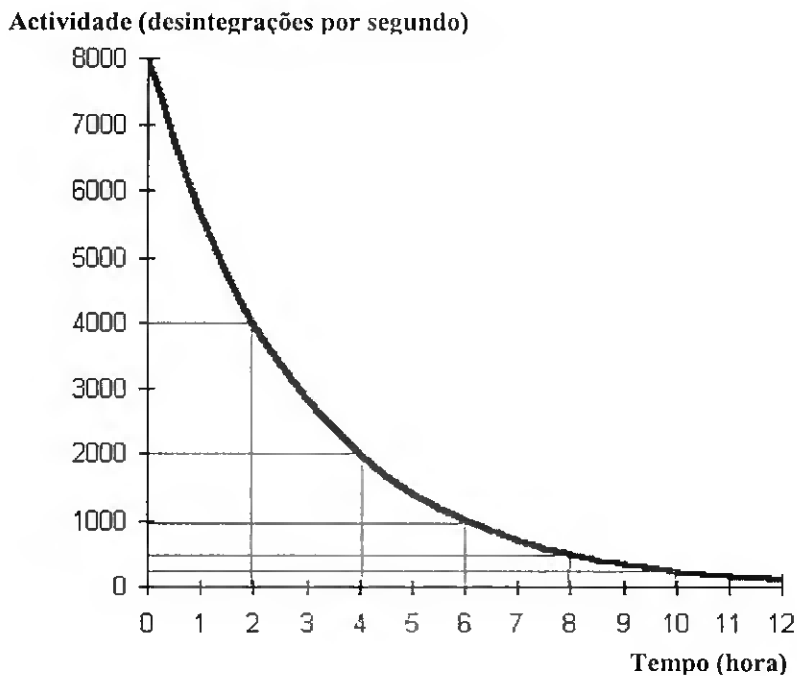


Gráfico 1.1: Decaimento radioactivo

Passamos a descrever os processos de desintegração radioactiva mais comuns.

Declínio por emissão α

Na altura em que foi descoberta a emissão do rádio 226 (1898), por M. Curie e P. Curie, chamou-se ao fenómeno radioactividade α ou emissão α . Às partículas emitidas, as primeiras observadas, deu-se o nome de partículas α apenas por ser a primeira letra do alfabeto grego. Posteriormente, verificou-se que essas partículas eram um núcleo de hélio, formado por 2 protões e 2 neutrões.

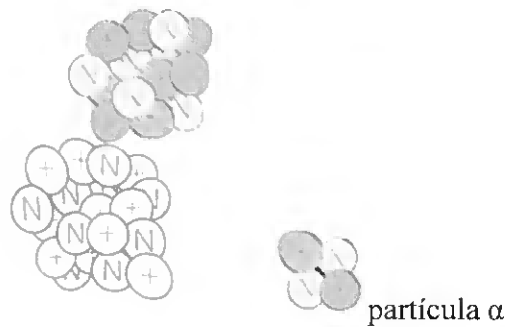


Figura 1.1: declínio por emissão alfa

Como tal, a partícula α é um núcleo de Hélio ou seja ${}^4_2\text{He}^{2+}$, assim o declínio α pode ser escrito por ${}^A_Z\text{N} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{M} + {}^4_2\text{He}$. As partículas α emitidas apresentam energias bem definidas e podem ser utilizadas para caracterizar o núcleo de onde provêm.

Declíneo	$T_{1/2}$	Energias da partícula α (MeV)
${}^{241}_{95}\text{Am} \xrightarrow{\alpha} {}^{237}_{93}\text{Np}$	433 ano	5.486 5.443
${}^{210}_{84}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} {}^{206}_{82}\text{Pb}$	138 dia	5.305
${}^{242}_{96}\text{Cm} \xrightarrow{\alpha} {}^{238}_{94}\text{Pu}$	163 dia	6.113 6.070

Tabela 1.1: Características de alguns emissores alfa

Declínio por emissão β^-

A partícula β^- é um electrão emitido pelo núcleo do átomo. O electrão é originário de uma transformação de um dos neutrões num protão, um electrão e um antineutrino.

O electrão e o antineutrino abandonam o núcleo, chamando-se a esse processo emissão beta. O núcleo resultante apresenta portanto um neutrão a menos e um protão a mais.

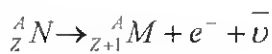
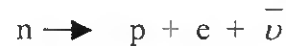
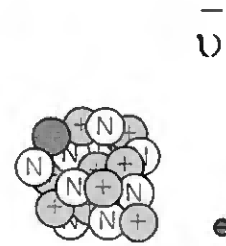


Figura 1.2: declínio por emissão β^-

O símbolo $\bar{\nu}$ representa o antineutrino que é uma partícula neutra, com massa quase nula, de spin $1/2$, que interage fracamente com a matéria. Esta partícula é emitida pelo núcleo juntamente com o electrão.

Isótopo	$T_{1/2}$	$E_{\max} \beta^-$ (MeV)	Isótopo	$T_{1/2}$	$E_{\max} \beta^-$ (MeV)
${}^3_1 H \rightarrow {}^3_2 He$	12.26 ano	0.0186	${}^{90}_{38} Sr \rightarrow {}^{90}_{39} Y$	27.7 ano	0.546
${}^{14}_6 C \rightarrow {}^{14}_7 N$	5730 ano	0.156	${}^{99}_{43} Tc \rightarrow {}^{99}_{44} Ru$	2.12×10^5 ano	0.292
${}^{32}_{15} P \rightarrow {}^{32}_{16} S$	14.28 dia	1.710	${}^{147}_{61} Pm \rightarrow {}^{147}_{62} Sm$	2.62 ano	0.224
${}^{33}_{15} P \rightarrow {}^{33}_{16} S$	24.4 dia	0.248	${}^{204}_{81} Tl \rightarrow {}^{204}_{82} Pb$	3.81 ano	0.766

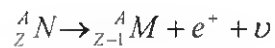
Tabela 2: Lista de alguns emissores β^-

O electrão e o neutrino dividem entre si a energia disponível no processo de decaimento, resultando para a energia cinética do electrão um espectro contínuo, de energia máxima E_{\max} .

Declínio por emissão β^+

Um núcleo que seja instável por ter um excesso de prótons tende a que um próton se converta num neutrão, que fica no núcleo, sendo emitidos um positrão e um neutrino. Chama-se partícula β^+ a esse electrão positivo emitido pelo núcleo. É de realçar que as partículas β^+ se comportam de forma análoga às β^- . Contudo, na parte final do seu percurso, quando a velocidade já é diminuta, elas combinam-se com um electrão livre, convertendo-se em radiação electromagnética.

A esse processo chama-se aniquilação da matéria e nele são emitidos dois fótons de 511 keV, correspondente às massas em repouso do electrão e do positrão.



O símbolo ν representa o neutrino, que é uma partícula neutra, com massa quase nula, de spin $\frac{1}{2}$, que interage fracamente com a matéria. Esta partícula é emitida pelo núcleo juntamente com o positrão.

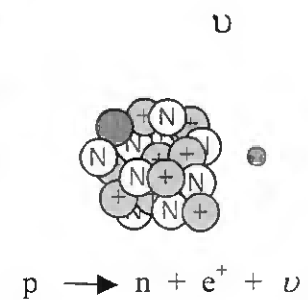


Figura 1.3: declínio por emissão β^+

Declínio por emissão γ

A emissão gama (γ) resulta de uma libertação de energia em excesso pelo núcleo de um átomo sob a forma de radiação electromagnética. O decaimento gama poderá estar associado a outros decaimentos como o α ou o β se os nuclídeos descendentes ficarem num estado excitado. Os fótons γ são como a luz e os raios-X, de natureza electromagnética, mas têm uma energia em geral superior e provém das camadas electrónicas dos átomos.

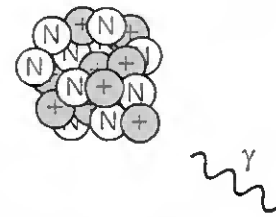


Figura 1.4: declínio por emissão gama

Conforme referido, os variados tipos de decaimento radioactivo dos núcleos instáveis conduzem à emissão de diversas partículas. A título de exemplo, estão representados na figura seguinte os decaimentos radioactivos da família do Urânio-238.

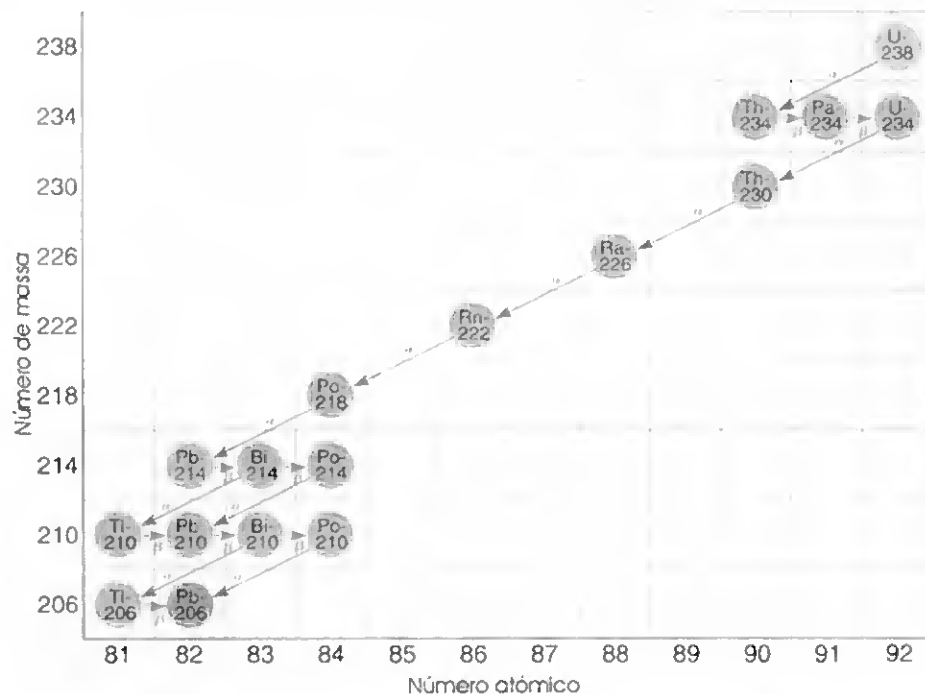
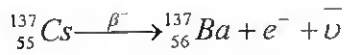


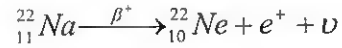
Figura 1.5: decaimentos radioactivos de urânio - Adaptado de:

<http://library.tedankara.k12.tr>

Em geral, se um núcleo decai por emissão de electrões ou positrões, como é o caso do ^{137}Cs e do ^{22}Na respectivamente, a desintegração representa-se do modo seguinte:



ou



ou de um modo em que se visualize melhor as várias transições e a emissão de partículas e fótons numa escala de energia:

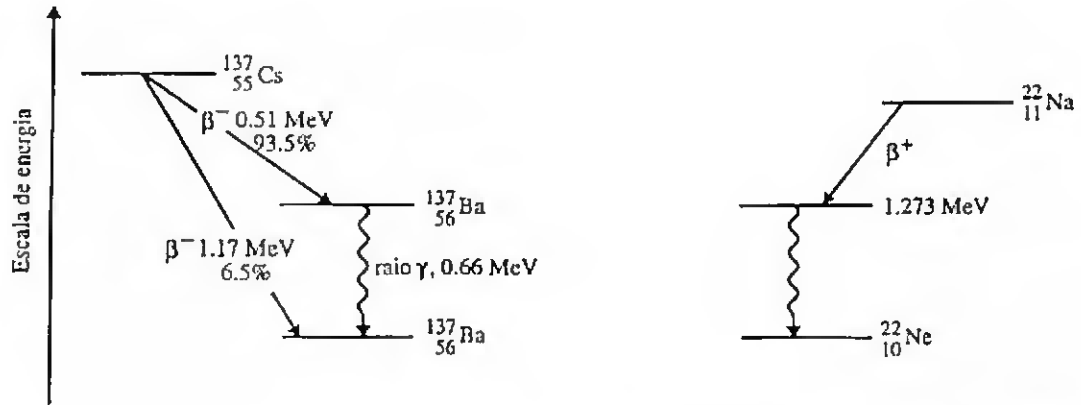


Figura 1.6: desintegração do ${}^{137}\text{Cs}$ e do ${}^{22}\text{Na}$ - Fonte: Abreu, M.C (1994)

2.1.2. Processos de interacção dos fótons com a matéria

Como referimos anteriormente, o nosso objectivo está centrado no estudo das radiações γ , que têm uma vasta aplicação em radiologia e medicina nuclear. Como tal, o nosso trabalho passa necessariamente pelo estudo dos processos de interacção destes fótons com a matéria.

Quando fótons de energia igual ou superior à luz visível colidem com a matéria poderão interagir com grande probabilidade com os electrões orbitais dos átomos ou com menor probabilidade com o núcleo da matéria. Os processos de interacção dos fótons com a matéria poderão dar-se por efeito fotoeléctrico (se a energia dos fótons for da ordem dos eV a poucos keV), por

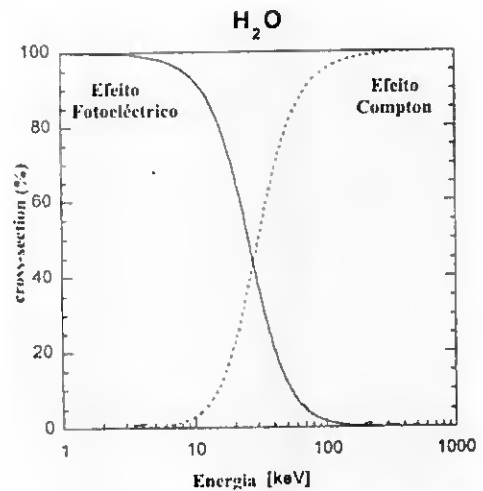


Gráfico 2.1: interação dos fótons com a matéria - Fonte: Zaidi 2003

efeito Compton para energias da ordem das centenas de keV ou produção de pares para energias superiores a 1 MeV. O gráfico 2.1. esquematiza a interacção dos fótons com a matéria relativamente à energia destes. O facto de estes dados serem referentes à água deriva do facto de o corpo humano ser na sua maioria constituído por esse composto e a maioria dos restantes tecidos terem um comportamento não muito diferente do da água.

Efeito fotoeléctrico: o efeito fotoeléctrico é um processo de interacção em que um fóton de energia E_γ , interage com o átomo, com emissão de um electrão orbital. O fóton é absorvido, perdendo toda a sua energia no processo de ionização. A energia cinética (E_c) do electrão libertado (fotoelectrão) é dada pela

diferença entre a energia do fóton,

$h\nu$, e o trabalho de extracção do

electrão, w_e : $E_c = h\nu - w_e$. Os

fotoelectrões em movimento vão,

por sua vez,

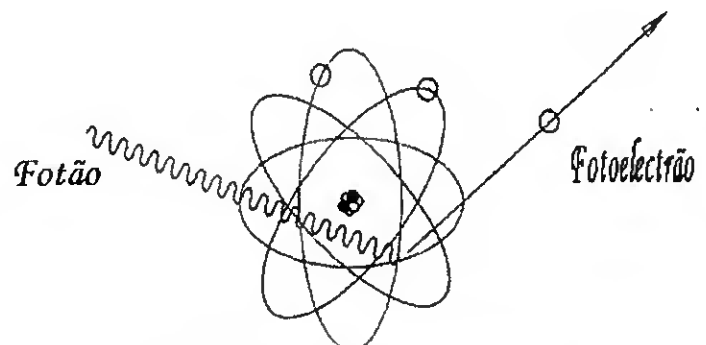


Figura 2.1: efeito fotoeléctrico

interagir com a matéria. Em consequência do rearranjo dos electrões orbitais no átomo são emitidos raios X (podendo ser UV nos elementos mais leves), característicos dos átomos ionizados. A probabilidade de haver efeito fotoeléctrico é tanto maior quanto maior for a ligação do electrão ao átomo, ou seja, é mais provável ocorrer efeito fotoeléctrico numa camada electrónica mais próxima do núcleo. Este efeito é predominante para radiação electromagnética de baixa energia e é mais provável em materiais de maior número atómico. O fotoelectrão torna-se uma partícula ionizante secundária e vai ser igualmente um agente de ionização.

Efeito Compton: O efeito Compton é um processo de interacção que envolve um choque elástico entre um fotão e um electrão livre ou pouco ligado ao átomo (camadas exteriores).

O fotão inicial dá origem a um novo fotão, de menor energia. A energia restante é transferida para o electrão Compton (ou de recuo). Considerando que a energia e a quantidade de movimento têm de ser conservadas durante a colisão,

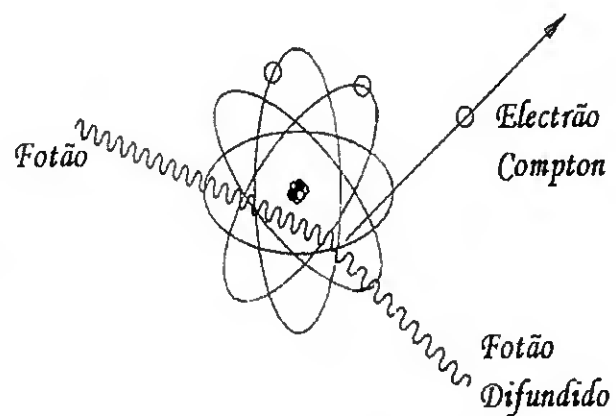


Figura 2.2: efeito Compton

conclui-se que a energia cinética do electrão de recuo, E_c , é dada pela diferença entre a energia do fotão antes da colisão (fotão incidente), $h\nu$, e depois da colisão (fotão dispersado ou difundido), $h\nu'$. $E_c = h\nu - h\nu'$. A energia transferida do fotão incidente para o electrão de recuo é máxima se a colisão for frontal e será mínima no caso de uma colisão tangencial. A probabilidade de se dar o efeito de Compton diminui quando a energia do fotão diminui (gráfico 2.1) e aumenta com o número atómico dos materiais (Salgado, 1997), sendo o electrão libertado uma partícula ionizante secundária.

Produção de pares: é um processo de interacção electromagnética do fóton com o campo eléctrico do núcleo do átomo. Dessa interacção resulta que o fóton deixa de existir, formando-se um par de partículas electrão/positrão. Chama-se materialização de energia a este processo, uma vez que se produzem partículas materiais a partir de radiação

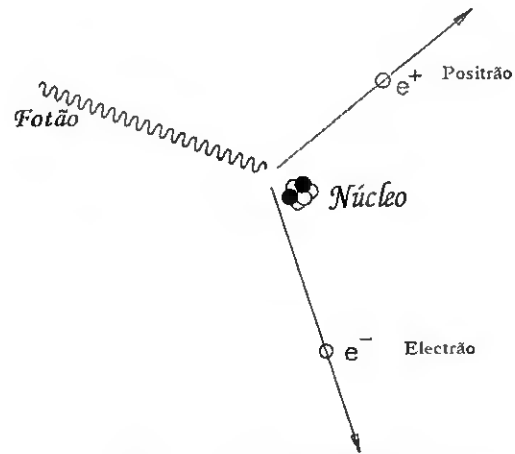


Figura 2.3: produção de pares

electromagnética. Pela lei da conservação da massa-energia, a produção de pares apenas ocorrerá se o fóton tiver uma energia superior a 1,022 MeV que é o dobro da energia equivalente à massa de um electrão em repouso: $h\nu > 2 \times m_e c^2$. A energia cinética do par electrão/positrão será tanto maior quanto maior for o excesso de energia do fóton em relação a 1,02MeV. Além disso este processo somente ocorre na presença de matéria, dado que é necessária uma troca de quantidade de movimento com um núcleo pesado para que se conserve a energia e a quantidade de movimento.

Para qualquer um dos processos de interacção referidos, os fótons incidentes originam electrões em movimento que, por sua vez, irão provocar fenómenos de ionização e excitação dos átomos da matéria com que entrem em contacto.

2.1.3. Efeitos biológicos das radiações ionizantes

O modo de interacção dos fotões com a matéria conduz, como referido, ao “arrancar” de electrões da matéria. Essas interacções da radiação com os tecidos tem repercussões biológicas que importa conhecer. Com efeito, é muito importante sublinhar que, apesar de existirem efeitos nefastos resultantes dessa exposição, esse malefício é muitas vezes usado para se obter um benefício maior, como sucede no caso específico da Radiologia, Medicina Nuclear e Radioterapia.

A absorção da radiação pelas células conduz, num espaço de tempo muito curto, à excitação e ionização de átomos e moléculas, formando radicais livres que poderão ser estáveis ou não. Durante esse curto espaço de tempo (poderá ser de nanossegundos), esses radicais livres poderão combinar-se entre si ou com outras moléculas e assim produzir alterações em moléculas biologicamente importantes para o funcionamento das células, como por exemplo a anulação da actividade de algumas enzimas ou a formação de algumas moléculas tóxicas como o peróxido de hidrogénio. A ionização poderá também quebrar ligações químicas de moléculas importantes, como por exemplo do DNA.

As alterações funcionais caracterizam-se por uma diminuição na actividade da matéria viva: diminuição na secreção de uma glândula, perda da contractilidade muscular, esclerose do tecido conjuntivo, etc. Estas são as primeiras reacções do organismo após exposição a radiação mesmo para doses pouco elevadas (Lima, 2003).

De certa forma as moléculas poderão ser reparadas por processos naturais mas conforme a extensão dos danos causados estes poderão impossibilitar essa recuperação.

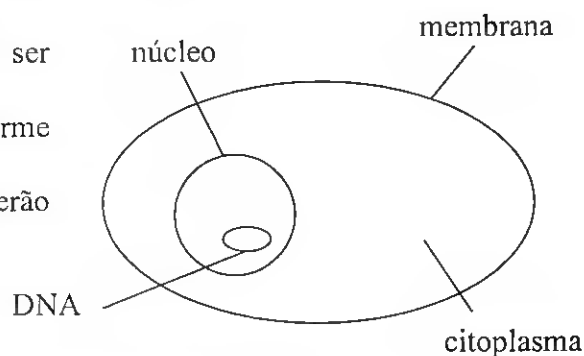


Figura 2.4: modelo simplificado de uma célula

No caso em que a recuperação não é possível a célula poderá morrer, alterar o seu natural funcionamento dando origem a um tumor ou então ficar com danos no código genético. As consequências poderão ser imediatas ou não, dependendo da dose de radiação absorvida. Na figura 2.4 sintetiza-se a sequência de eventos que ocorrem na matéria exposta à radiação:

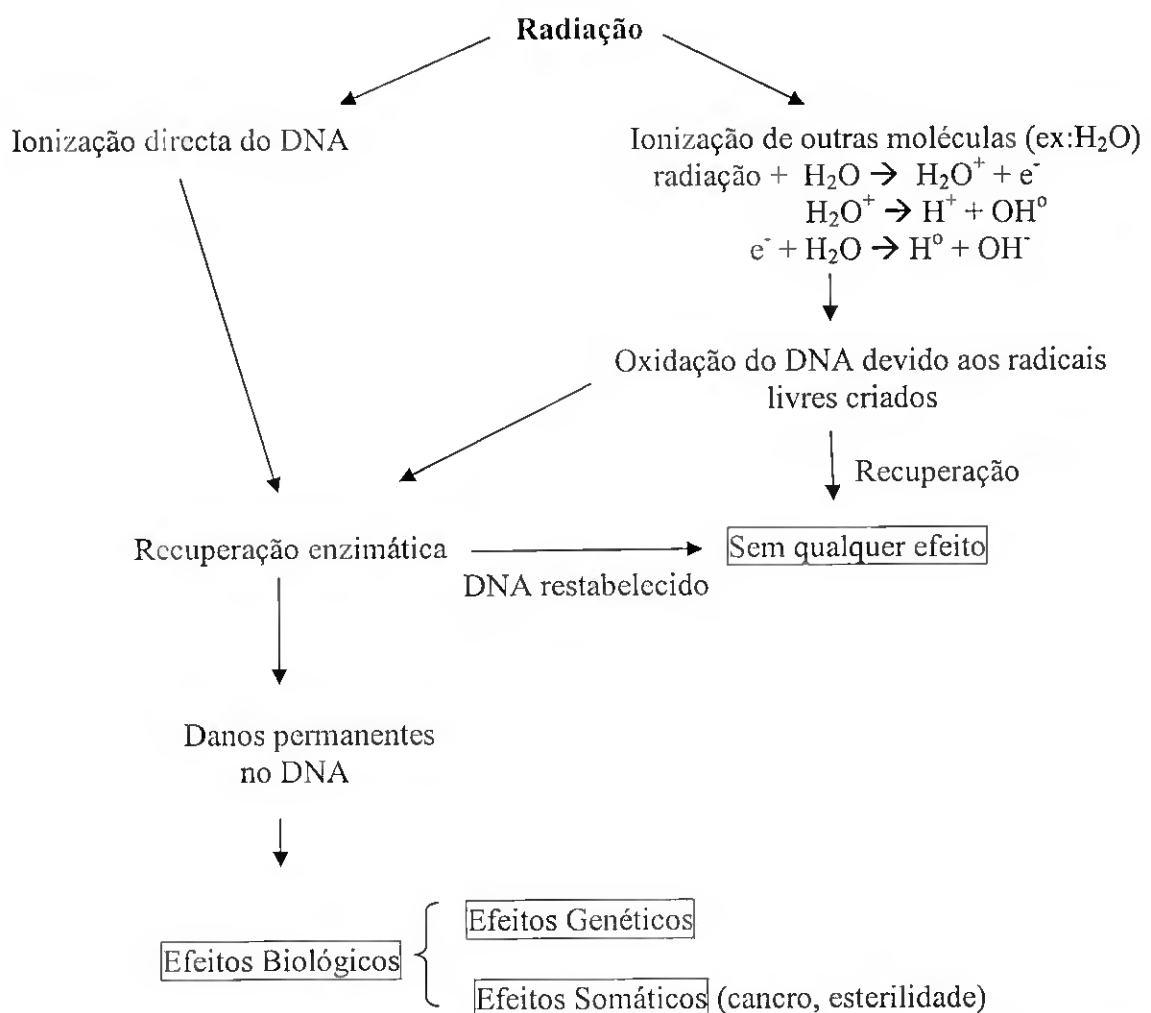


Figura 2.5: efeitos biológicos das radiações ionizantes - Fonte: Leo(1993)

Os efeitos das radiações poderão então dividir-se em dois grupos. Os somáticos, se as células atingidas têm funções relacionadas com o metabolismo do corpo humano, e os

genéticos, caso as células atingidas tenham funções de propagação das características genéticas.

Mas qual será então a dose de radiação que o organismo pode absorver sem consequências nefastas? Para uma análise mais completa, será necessário definir dose de radiação absorvida como a quantidade de energia da radiação ionizante absorvida por unidade de massa do corpo irradiado. A unidade em que se exprime a dose de radiação é o **gray (Gy)**. Um gray é igual a um joule de energia absorvida por quilograma.

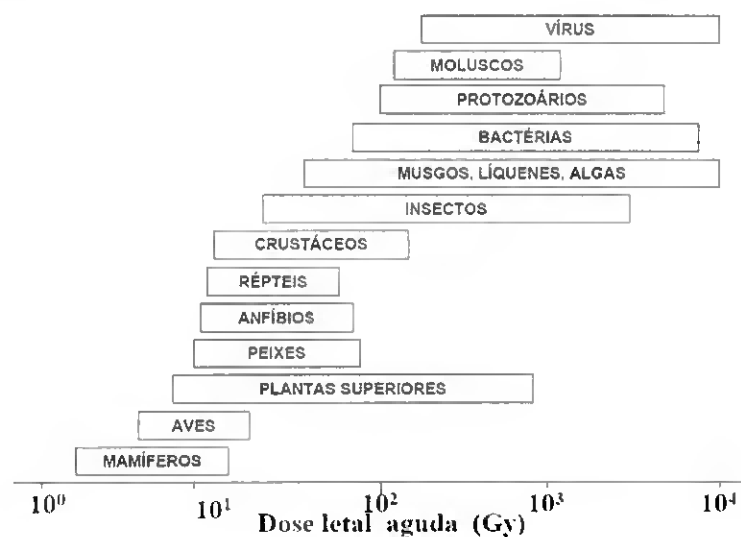


Figura 2.6: Resistência dos seres vivos expostos a radiação – Fonte: Fernando P.

Carvalho, ITN, 2003

As diferentes radiações têm efeitos biológicos diversos nas várias partes do corpo humano, existindo no ser humano zonas mais sensíveis aos efeitos das radiações do que outras. Nem todas as células vivas têm a mesma sensibilidade à radiação. As células mais activas são mais sensíveis, devido ao facto de a divisão celular ser mais regular (o DNA tem de ser correctamente reproduzido para que a nova célula possa sobreviver), como sucede com as células dos pulmões, da mama ou do estômago, por exemplo. Uma interacção directa da radiação com determinada célula pode resultar na morte ou mutação desta, enquanto que numa outra célula o efeito pode não ter a menor

consequência. As células vivas podem ser classificadas segundo as suas taxas de replicação, que indicam também a sua maior ou menor sensibilidade à radiação. É no entanto importante realçar que de um modo geral as células têm uma grande capacidade de regeneração e que, como tal, o facto de terem sido sujeitas a radiação não implica inevitavelmente a sua morte.

Uma das formas mais fáceis de medir a radiação é a Exposição (X), que é definida como o valor absoluto das cargas de igual sinal dos iões produzidos numa unidade de massa de ar, por um feixe de fotões:

$$X = \frac{Q}{m}, \text{ onde } Q \text{ é o total das cargas produzidas de igual sinal por unidade de massa } m.$$

A equação anterior é verdadeira apenas para raios X e γ em ar. Como os tecidos humanos têm uma densidade muito superior à do ar, teremos de introduzir um outro conceito que é o de Dose Absorvida. Dose absorvida é a energia absorvida de radiação por unidade de massa:

$$D = \frac{E}{M}, \text{ em que } E \text{ é a energia absorvida pela massa } M.$$

Diferentes formas de radiação tendem a provocar diferentes graus de danos biológicos, mesmo para a mesma dose absorvida. Será portanto importante referir que ao medir a radiação é necessário ter em conta que a radiação de alta energia transferida (LET – Linear Energy Transfer) é mais prejudicial aos tecidos. Para resolver este problema de termos vários efeitos para diferentes formas de radiação terá de ser introduzido o conceito de dose equivalente:

$$\text{Dose equivalente (sievert)} = \text{dose absorvida (Gy)} \times \text{factor de qualidade}$$

O factor de qualidade é portanto utilizado como “peso” da dose absorvida, podendo-se dar como exemplo as radiações X e γ , que têm um factor de qualidade atribuído de 1, sendo a dose equivalente numericamente igual à dose absorvida. Por outro lado, para as

partículas α , o factor já é de 20 e, no caso dos neutrões, dependendo da sua energia, estes poderão atingir também esse valor.

Apesar de se poder afirmar que não existe um limiar abaixo do qual não existe risco, em nenhum estudo foram encontrados efeitos malignos para doses consideradas fracas (Salgado 1996), não se podendo dizer o mesmo para doses superiores a 0,1 Sv, uma vez que já é uma certeza científica que poderão provocar várias doenças, entre elas a leucemia ou o cancro.

A eficiência com que uma determinada partícula ejecta um electrão de um dado átomo, provocando a sua ionização, depende da quantidade de carga que essa mesma partícula possui. Por outro lado a massa que cada partícula possui também contribui para que essa mesma partícula tenha um maior poder ionizante. A tabela 2.1 mostra os valores de energia transferida - LET (Linear Energy Transfers) para várias partículas e diversas energias:

Partícula	Massa (unidades de massa atómica)	Carga (unidades de carga electrónica)	Energia (keV)	LET (keV/micrón)
Electrão	0,000055	-1	1	12,3
			10	2,3
			100	0,42
			1000	0,25
Protão	1,0	+1	100	90
			2000	16
			5000	8
			10000	4
α	4,0	+2	100	260
			5000	95
			200000	5

Tabela 2.1: energia transferida para várias partículas - Fonte: Gofman 1981

É fácil verificar pela análise dos dados que a LET aumenta com o aumento da carga e da massa das partículas. Por outro lado para a mesma partícula o seu poder ionizante é maior à medida que a velocidade diminui.

Convém ter presente que, ao longo do seu desenvolvimento, a espécie humana esteve sempre sujeita a radiações ionizantes externas e internas e que o nosso organismo está preparado para viver num mundo com radiações. Como se pode ver na figura seguinte, estamos diariamente expostos a vários tipos de radiação. Em média, a dose de radiação proveniente de várias fontes que a população em geral absorve é de aproximadamente 2,6 mSv/ano.

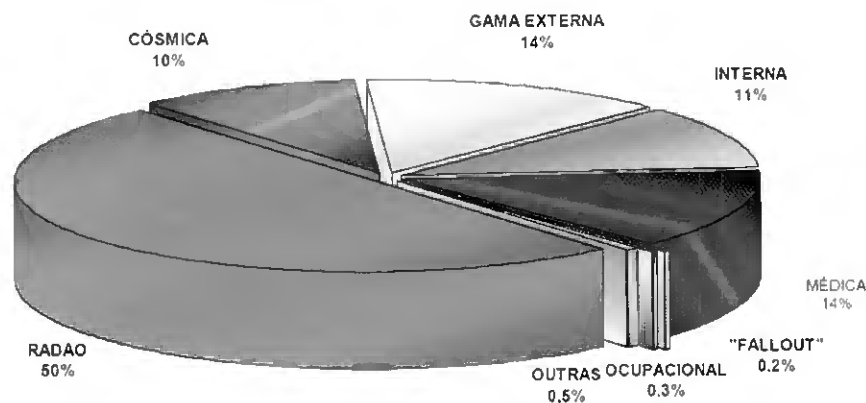


Figura 2.8: Exposição média da população à radiação – Fonte: Fernando P. Carvalho, ITN, 2003

A nossa atenção deverá estar focalizada nos campos da radiação médica e a ocupacional para que não ultrapassem certos limites, ou tomar medidas especiais de protecção quando astronautas, viajantes em balões ou os passageiros dos aviões ficam sujeitos a doses superiores de radiação cósmica e também para a vida de populações em determinadas regiões onde existem percentagens muito elevadas de radão, como seja nas zonas graníticas.

3. Aplicações Médicas

Após termos caracterizado os processos de interacção da radiação com a matéria, direccionamos agora o nosso estudo para uma das aplicações mais importantes dessas interacções, a que se dá na área da Medicina.

3.1. Radiologia e equipamento de raios X

Atribui-se a Wilhelm Konrad Röntgen, em 1895, a descoberta dos raios X. Roentgen, estudante numa Universidade de Zurique, na Suíça, tinha um grande interesse pela fotografia. Certo dia, Roentgen deixou algumas placas fotográficas sob um livro com uma capa metálica que tinha um desenho de uma chave. Na mesa estava uma ampola de raios catódicos ligada, com a qual Röntgen fazia experiências para a detecção de radiação electromagnética; dias mais tarde, ao revelar uma fotografia feita com uma das referidas placas, viu a imagem da chave. Roentgen foi repetindo a experiência para encontrar a explicação do fenómeno. Esta importante descoberta depressa se espalhou pelo mundo, tendo mesmo sido atribuído a Röntgen o Prémio Nobel (1901), facto que veio associar os raios X ao mais alto galardão científico.

A partir da II Guerra Mundial, a evolução das numerosas técnicas radiológicas tornou-se mais evidente. A visão do interior do corpo humano sem necessidade de intervenção cirúrgica criou um fascínio grande associado a uma enorme utilidade, que ainda hoje continua a ser a base de técnicas indispensáveis à Medicina. Os primeiros clínicos limitaram-se ao estudo dos ossos e à pesquisa de objectos estranhos no corpo humano,

logo é lógico que o maior desenvolvimento se tenha dado na medicina militar se nos lembrarmos que no início do século houve duas grandes guerras. Cada vez mais foi sendo necessário que, para melhor manusear o equipamento radiológico, se tivesse conhecimentos anatómicos que permitissem posicionar o corpo sujeito à radiologia da melhor forma. Foi então imperiosa a formação de técnicos de raios X. Os aparelhos foram-se tornando mais sofisticados e mais caros. Nos dias de hoje, e passado um século após a descoberta destes raios, a indústria dos equipamentos de raios X continua a ter sucesso, registando progressos e grande dinamismo.

Basicamente, um aparelho de raios X é constituído por três elementos: a fonte de raios X, o colimador e o detector.

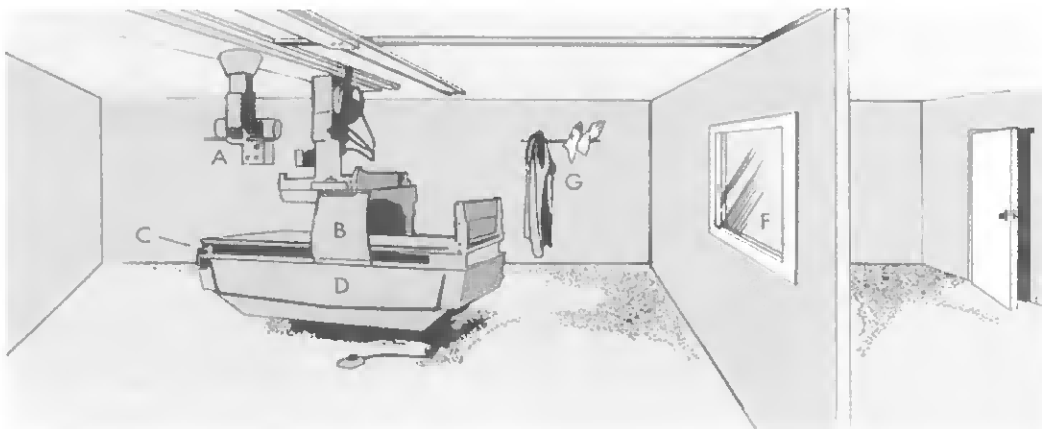


Figura 3.1: sala de Radiologia - Fonte: Bushong (1997)

A figura 3.1 representa uma sala típica de raios X de um hospital ou centro de saúde. Na figura estão representadas duas fontes de raios X, uma em cima (A) e outra em baixo da cama (D), equipamentos de protecção revestidos de chumbo como as cortinas (B e C), as luvas e túnica (G) e o vidro de protecção (F).

Relativamente à fonte de raios X, é importante salientar que no interior de um tubo de raios X existe uma câmara de vácuo que contém um filamento, um cátodo e um ânodo, que estão sujeitos a uma diferença de potencial cujo valor varia conforme o objectivo do aparelho, mas que no caso da radiologia atinge um máximo de 100 kV. O filamento

interior ao cátodo é aquecido pela passagem da corrente e, conseqüentemente, são emitidos electrões pelo cátodo. Esses electrões são acelerados pela diferença de potencial, estabelecida entre o cátodo e o ânodo, dirigindo-se

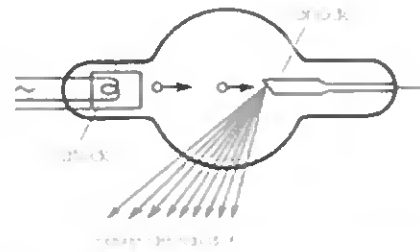


Figura 3.2: produção de raios X

para o ânodo (eléctrodo positivo) . Ao atingirem o ânodo, a maior parte da sua energia é transformada em energia térmica, mas uma pequena parte causa a emissão de raios X, devido às desexcitações electrónicas e emissão de radiação de travagem (radiação emitida pelos electrões quando se deslocam na vizinhança de outras cargas eléctricas).

Com efeito, quanto maior for a diferença de potencial entre os eléctrodos, maior será a energia dos raios X . A figura 3.3 mostra o

espectro de raios X para um alvo (ânodo) de tungsténio e diferenças de potencial de 60, 90 e 120 keV. Os picos correspondem a raios X característicos de W, com energias bem definidas

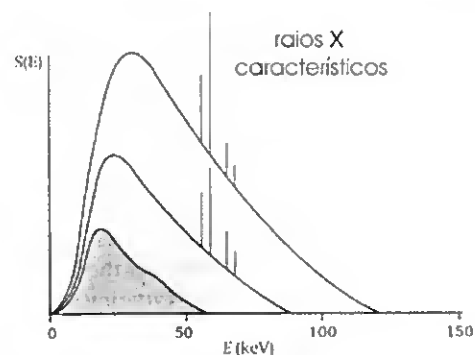


Figura 3.3: espectro de raios X para o tungsténio – Fonte: McCormick (2001)

($K_{\alpha 1} = 59,310$; $K_{\alpha 2} = 57,973$;

$K_{\beta 1} = 67,233$; $K_{\beta 2} = 69,090$)

e que são os mais importantes nas aplicações médicas. É de realçar que baixos valores de diferença de potencial (60 keV) não produzem electrões com energia suficiente para produzirem raios X característicos (Ball 2003), por não atingirem o trabalho de extracção dos electrões da camada K do tungsténio ($W_{cK} = 69,5keV$).

Relativamente ao colimador, há a realçar o facto de se tratar de uma grelha composta por lâminas opacas aos raios X, que tem como objectivo de propiciar que os raios X atravessem o paciente em linha recta (sem terem sofrido desvios) até atingirem o detector. Existem vários tipos de grelha que variam conforme se pretenda uma maior focalização (foco próximo) ou menor focalização (foco mais distante). Quanto aos detectores, e apesar da complexidade do

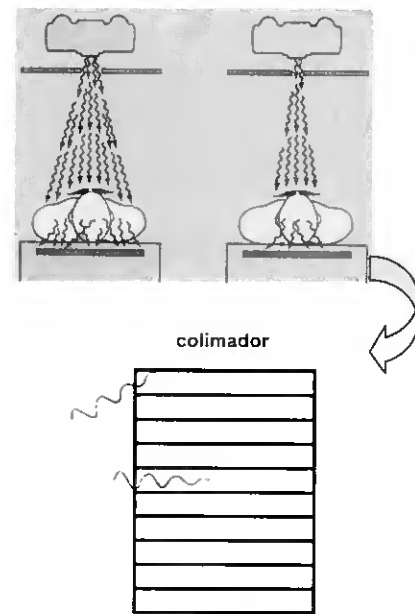


Figura 3.4: papel do colimador

processo de detecção, é de destacar que tal como um filme fotográfico, um filme de raios X consiste numa folha de plástico inerte revestida com uma emulsão de cristais de brometo de prata. A escolha desses cristais deve-se ao facto de os fotões de raios X interagirem com os átomos de prata e de bromo, deixando estes, após essa interacção, de ter a cor prata, assumindo tonalidades mais escuras, e construindo assim a imagem (McCormick 2001).

3.1.1. Tomografia Computadorizada (TC) - Imagens a três dimensões de Raios X

Uma das limitações mais importantes das imagens de raios X convencionais é o facto de parte da informação obtida ser o resultado da absorção da radiação ao longo de vários órgãos sobrepostos. Uma solução será portanto usar um feixe rotativo de raios X para obter imagens tridimensionais. As imagens obtidas pela TC não são mais que imagens a 3 dimensões obtidas com base noutras imagens, a 2 dimensões, para diferentes ângulos e com movimento, passo a passo, ao longo de uma zona do corpo humano.

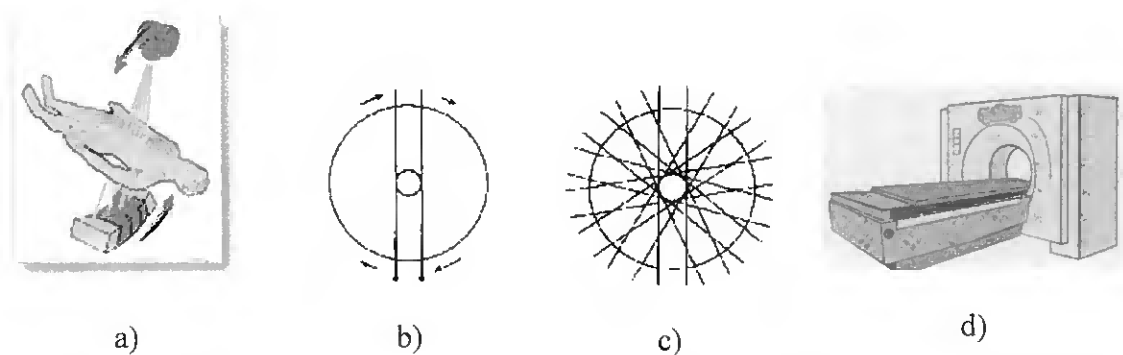


Figura 3.5: diferentes fases da Tomografia Computadorizada

Numa tomografia computadorizada a fonte de raios-X , os colimadores e os detectores em geral cristais cintiladores (que convertem os fótons recebidos em impulsos eléctricos) colocados no lado oposto, das fontes de raios-X, rodam em torno do paciente (a). Após a recepção dos sinais é reconstruída uma imagem daquela projecção do paciente (b). Repetindo a operação rodando o aparelho obtêm-se um conjunto de “fatias” (c) que permitem formar a imagem com muito mais detalhe que as radiografias convencionais. Após todo esse processo as projecções são convertidas em elementos de volume que serão analisados por um computador que posteriormente reconstruirá a imagem.

3.1.2. Atenuação dos raios X nos tecidos biológicos

Como já referido em 2.2.1. ao descrever o processo de detecção, as imagens de raios X baseiam-se no coeficiente de atenuação dos diferentes tecidos atravessados pela radiação X. O número de quanta dN interagindo com a matéria numa camada de espessura dx é proporcional ao número de quanta incidente N , à espessura da camada dx e ao coeficiente total de atenuação linear μ .

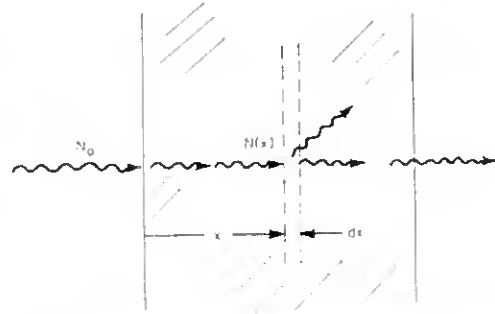


Figura 3.6: lei da atenuação - Fonte: Turner(1995)

$$dN = -\mu N dx \text{ (o sinal negativo significa que o número de quanta diminui)}$$

Após dividir a expressão por N e integrar obtêm-se a expressão da lei da atenuação:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\mu \int_0^d dx \Leftrightarrow \boxed{N = N_0 e^{-\mu d}}$$

A lei da atenuação estabelece que o número de quanta N que penetra no material é proporcional ao número de quanta incidente N_0 e decresce exponencialmente com o coeficiente de atenuação linear μ e com a espessura d do material (Krestel, 1990).

Por outro lado o coeficiente de atenuação linear μ é dado pelo produto entre a densidade atômica do material N_A e a secção eficaz total do meio σ_A : $\mu = N_A \sigma_A$

O número de átomos por cm^3 de um elemento é dado por $N_A = \left(\frac{\rho}{A}\right) N_0$, onde ρ é a densidade do material em $g\ cm^{-3}$, A a massa atômica e N_0 o número de Avogadro.

O efeito da produção de pares pode ser desprezado devido a estarmos a lidar com baixa energia, para o cálculo do coeficiente de atenuação, restando portanto o efeito fotoelétrico e de Compton.

$\mu = \left(\frac{\rho}{A}\right)N_0(\sigma_f + \sigma_c)$. Como temos vários elementos o

$$\mu = \sum_i \mu_i = N_0 \sum_i \frac{1}{w_i} \frac{\rho_i}{A_i} (\sigma_{fi} + \sigma_{ci})$$
 em que w_i representa a percentagem do elemento i .

Os diversos tons no filme obtido, numa escala de cinzentos, permitem definir alguns contornos anatómicos, dando portanto a informação necessária. A maior presença de contraste entre o limite de duas estruturas é proporcional à maior diferença de densidades das mesmas, que levam a uma energia média absorvida, dos fótons incidentes, por cada uma dessas estruturas, diferente. Este facto deve-se a que os coeficientes de atenuação, medidos em unidades Hounsfield – U.H. (Tabela 2.4.1), dependem das densidades, do número atómico (Z) do material e da energia de radiação.

	Valor Padrão (U.H.) de cinzentos		Valor Padrão (U.H.) de cinzentos
Ar	-1000	Baço	45 ± 5
Água	0	Pâncreas	40 ± 10
Osso (compacto)	>250	Rim	30 ± 10
Osso (esponjoso)	130 ± 100	Gordura	-65 ± 10
Tiróide	70 ± 10	Sangue	55 ± 5
Fígado	65 ± 5	Sangue (coagulado)	80 ± 10

Tabela 3.1: Escala de Hounsfield – U.H. (tabela de valores em tomografia computadorizada – coeficientes de atenuação do ar, tecidos e fluidos). Para a água atribuí-se o valor padrão zero e o ar de -1000 - Fonte: Pisco, J.M. (1999)

Se os coeficientes de atenuação da água, do ar e da substância em estudo forem $\mu_{\text{água}}$, μ_{ar} e μ respectivamente, teremos $H = 1000(\mu - \mu_{\text{água}})/(\mu_{\text{água}} - \mu_{\text{ar}})$. Sendo assim, a mudança de uma unidade Hounsfield corresponde a um coeficiente de atenuação de 0,1% em relação à diferença entre os coeficientes da água e do ar.

3.2. Medicina Nuclear

O princípio básico das imagens de Medicina Nuclear é obter uma imagem a partir da radiação que vem do órgão a examinar. Para obter essa imagem administra-se ao paciente um radiofármaco (que contém um elemento radioactivo na sua estrutura) que seja importante na função orgânica específica que se pretende analisar. A diferença entre a Medicina Nuclear, a radiologia e a radioterapia externa é o facto de nestes dois últimos casos a fonte de radiação ser externa, em relação ao corpo, enquanto que em Medicina Nuclear a radiação provém do corpo humano e para tal ter de ser ministrada às pessoas um radiofármaco (emissor de um dado tipo de radiação).

O tipo de radiofármaco escolhido influencia a sua biodistribuição mas é sempre a radiação proveniente dos radionuclidos da sua estrutura que vai ser utilizada para a obtenção da imagem em termos diagnósticos (na maior parte) ou para aplicabilidade terapêutica a determinadas patologias.

A Medicina Nuclear é geralmente usada para diagnóstico de doenças, sendo construída uma imagem da distribuição num determinado órgão da substância radioactiva administrada ao paciente. O tipo de imagens obtidas em medicina nuclear difere das obtidas em raios X em vários aspectos. Se as obtidas por raios X são imagens estruturais ou anatómica, as imagens em Medicina Nuclear poderão ser funcionais, permitindo a construção de imagens dinâmicas, contendo informações acerca do funcionamento de um órgão ou sistema ao longo de um intervalo de tempo. A ideia fundamental para este processo é que a substância radioactiva serve como traçador de um processo biológico em particular, como no exemplo do cancro do pulmão em se obtém as informações suficientes para a construção da imagem pedindo ao paciente que inale um aerosol radioactivo. Se houver zonas no pulmão que estejam a ser mal ventiladas (as causas

poderão ser diversas), estas serão facilmente visualizadas a partir da distribuição da substância radioactiva inalada.

Poderá também ser injectada na corrente sanguínea uma substância radioactiva para se obter imagens de órgãos mas neste caso terá de ser previamente efectuado um estudo acerca da substância indicada para ser mais absorvida pelo tecido alvo e menos por qualquer outro. Por exemplo poderá falar-se do Metil-difosfato (MDP) marcado com tecnécio-99 radioactivo utilizado para localizar patologias nos ossos. O Metil-difosfato (MDP) com o traçador é absorvido pelo osso, sendo depois possível analisar eventuais anomalias. Outro exemplo é o FDG (flúor-2-dióxido-D-glucose) cujo flúor radioactivo (^{18}F) serve como traçador das moléculas de glucose que serão mais absorvidas pelas células cancerígenas nomeadamente do cérebro, que evidenciarão um anormal metabolismo de glucose.

A construção de traçadores para medicina nuclear é um processo complexo e multidisciplinar. São necessários químicos para fabricar o traçador, fisiologistas para compreender o comportamento desse traçador no corpo humano, os físicos e os engenheiros electrónicos para as restantes matérias como a construção de bons detectores de radiação, a simulação dos processos. Os engenheiros informáticos na dosimetria para melhorar a técnica de manuseamento da imagem.

Em termos terapêuticos, a medicina nuclear é geralmente usada, por exemplo, para tratamento do cancro da tiróide. Sabendo que o iodo é absorvido pela tiróide e pelas células cancerígenas da tiróide, é fornecida ao paciente uma dose de iodo radioactivo (^{131}I). Este iodo radioactivo irá acumular-se nas células cancerígenas da tiróide, causando a morte destas, possibilitando a cura do paciente. Uma vantagem é o iodo radioactivo não se acumular de forma significativa em células sãs, fora da tiróide. A maior parte da dose de radiação utilizada na terapia em medicina nuclear tem de ser

absorvida pelo órgão, donde se recorre a partículas β e α , que tem um baixo alcance no tecido humano (apenas alguns milímetros). O processo de cálculo da dose indicada para as diferentes partes do corpo durante um processo de medicina nuclear é denominado por dosimetria e é um importante capítulo da Física Médica.

Neste capítulo serão desenvolvidos os aspectos de maior relevância para uma melhor compreensão das técnicas utilizadas em Medicina Nuclear. Começaremos por explicar como é constituída e como se obtém a imagem a partir de uma câmara-gama. De seguida, e para complementar a compreensão do modo de funcionamento da câmara-gama, será feita uma abordagem acerca da origem da radiação utilizada nesta técnica. Na secção seguinte serão caracterizados os diversos tipos de detectores, com particular ênfase nos utilizados no âmbito do projecto do LIP- Algarve “Detectores de alta resolução para raios gama”, assim como uma importantes técnicas utilizadas em Medicina Nuclear (a SPECT) e que será alvo de estudo durante a nossa participação nesse mesmo projecto. Finalmente, e para terminar este capítulo, serão caracterizados os tipos de radiofármacos utilizados em Medicina Nuclear.

3.2.1. Formação da imagem

As imagens em Medicina Nuclear são obtidas por três técnicas: a cintigrafia, a SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) e a PET (Positron Emission Tomography).

As imagens cintigráficas obtidas em medicina nuclear, baseiam-se na capacidade de detectar radiação gama emitida por um material radioactivo administrado no corpo humano.

Os detectores, cada vez mais modernos, são capazes de detectar a distribuição do material radioactivo, obtendo-se imagens funcionais de determinados órgãos do corpo humano.

No início dos anos 50 desenvolveu-se um aparelho denominado tubo fotomultiplicador, que convertia um sinal luminoso, de fraca intensidade, em corrente eléctrica. Este tubo fotomultiplicador era acoplado a um material cintilador (como o iodeto de sódio por exemplo), o cristal quando atingido por radiação de energia da ordem dos keV produz luz, acoplado ao fotomultiplicador permite converter a luz num sinal eléctrico, obtendo-se assim um detector de radiações. Durante a década de 50, desenvolveu-se o “scanner” linear que era basicamente constituído por um colimador de chumbo, um cristal de iodeto de sódio e um fotomultiplicador. Este aparelho fazia um varrimento sobre o doente dando origem a uma imagem da distribuição da radioactividade no seu corpo. Em 1957, Hal Anger começou a desenvolver a câmara-gama que consistia num disco de iodeto de sódio de grande diâmetro, associado a uma série de fotomultiplicadores. Ao introduzir-se, em 1964, o tecnécio-99m (Tc-99m) como radiofármaco emissor de radiação gama com energia de 140 keV, a câmara-gama rapidamente tornou-se no instrumento mais utilizado na Medicina Nuclear (Pisco 1999). Ainda nesta década, Kuhl e Edwards fizeram uma versão tomográfica desta câmara gama. A interface dos computadores com a câmara gama surgiu nos anos 70 evoluindo na década de 90 para a câmara gama de leitura digital, que é utilizada nos dias de hoje.

A câmara gama é basicamente constituída por um cristal de grandes dimensões de NaI dopado com tálio (normalmente com 40 cm x 50 cm e de espessura de 1 cm) acoplado,

através de uma guia de luz, a diversos fotomultiplicadores (as mais actuais podem conter entre 50 a 100 fotomultiplicadores) e um colimador colocado na parte da frente do cristal. Os sinais de saída dos fotomultiplicadores são processados, fornecendo informações acerca da quantidade de energia absorvida pelo cristal e as coordenadas espaciais da incidência da radiação no cristal. O colimador é um importante componente da câmara-gama e a sua selecção depende do tipo de estudo que se pretende fazer, podendo este ser paralelo (só permite passagem de radiação normal ao detector), do tipo *pinhole* (permite fazer ampliações),

convergentes (para uma boa resolução e sensibilidade) e divergente (quando o objecto tem dimensões superiores às da câmara).

A blindagem que reveste toda a câmara isola-a de todas as fontes de

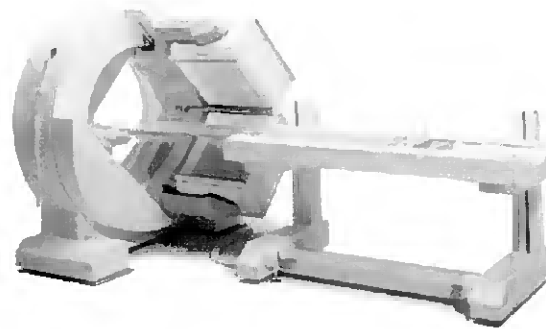


Figura 3.7: câmara Anger (Siemens) Fonte:

<http://www.owl.net.rice.edu/~elec539/Projects97/cult/node1.html>

radiação que não estejam no seu campo de visão. O radioisótopo mais utilizado em Medicina Nuclear é, como já foi referido, o tecnécio-99m (Tc-99m), tendo um período de semidesintegração de 6 horas, emitindo radiação gama com uma energia de 140 keV. O poder de penetração desta radiação é suficientemente grande para que uma fracção de cerca de 40% atravesse o corpo humano e atinja um detector externo. Durante esse caminho, a radiação poderá interagir com alguns tecidos do corpo humano ou com a própria câmara gama, por interações fotoeléctricas ou de Compton. Para a análise da imagem só interessa a radiação que não tenha sofrido efeito de Compton, logo, só interessa aquela radiação que chegue ao detector com uma energia de 140 keV, sendo essa radiação a que fornece a informação útil sobre o processo que se está a estudar no paciente. O facto de se “filtrar” a restante informação devida a interações entre as

radiações e os tecidos humanos deve-se ao facto de essas radiações mudarem de direcção e de energia e portanto dando indicações que são consideradas ruído.

3.2.2. Tipos de detectores mais usuais

Os fotões usados em medicina nuclear possuem uma energia superior aos utilizados na radiologia (numa ampola de ânodo de tungsténio pode-se atingir cerca de 60 keV, enquanto que na medicina nuclear pode-se usar o ^{99}Tc com energia de 140 keV), donde não se poder utilizar técnicas de imagem baseadas em filmes, dado que estes passarão através deles. Existem muitos tipos de detectores para medicina nuclear, sendo os mais utilizados, como já referido, os de cintilação, usando um cristal de iodeto de sódio contendo pequenas quantidades de tálio. Estes cristais estão ligados a um tubo fotomultiplicador. O cristal é cintilador pois quando um raio gama interage com ele é produzida luz visível ou do ultravioleta próximo. O tubo fotomultiplicador acoplado ao cristal transforma a luz que recolhe em pulsos eléctricos. Um detector de cintilação não é um dispositivo de imagem pois apenas detecta a presença de fotões de altas energias. Para se obter uma imagem é necessário obter a direcção em que os fotões se deslocam e a posição em que se dá a interacção dos fotões com o detector. Essas informações poderão ser obtidas, por exemplo, recorrendo a uma câmara gama. A resolução espacial que se obtém com estes sistemas tradicionais é de 5 a 8 mm.

Outro exemplo de detectores deste tipo são os utilizados no projecto “Detectores de alta resolução para raios gama”, que será descrito na próxima secção, desenvolvido nas instalações do LIP-Algarve, na Universidade do Algarve, que consiste num sistema de imagem digital baseado em fotodetectores híbridos (tubos ISPA) constituídos por cristais cintiladores e circuitos *pixel* bidimensionais de silício que tem como objectivo a construção de um sistema compacto para imagem digital de alta resolução de pequenos órgãos, tais como a tiróide. Este é um projecto de investigação no âmbito do acordo de cooperação entre Portugal, o CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucleaire) na Suíça, e o INFN-Roma (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) em Itália. Os tubos ISPA (*Imaging Silicon Pixel Array*) são fotodetectores híbridos semelhantes a fotomultiplicadores, com a possibilidade de formarem imagens bidimensionais através da recolha dos fotoelectrões por um circuito *pixel* no plano focal do ânodo. A interacção de um fóton incidente com a janela cintiladora de YAP: Ce (que será estudada em maior detalhe nas secções 4.1 e 4.2) origina a emissão de luz de cintilação que, ao atingir o fotocátodo, leva à emissão de fotoelectrões. Estes são então acelerados em direcção ao circuito *pixel* no cátodo, e o centróide da distribuição de carga fornece as coordenadas de entrada do fóton incidente no detector. Os sistemas de imagem baseados em tubos ISPA são capazes de resoluções intrínsecas inferiores a 1 mm para energias até 150 keV, constituindo assim uma alternativa compacta e de alta resolução às câmaras gama correntemente utilizadas em ambiente clínico.

3.2.3. Tipos de Radiofármacos

Como anteriormente referido, os métodos de medicina nuclear baseiam-se na obtenção de imagens funcionais usando radiofármacos. Os radiofármacos são produtos marcados com um nuclídeo radioactivo, administrados ao paciente para estudar um determinado processo biológico. São normalmente usados nuclídeos de vida curta, para apenas expor o doente num período, estritamente necessário e se possível curto, como: ^{99m}Tc , ^{111m}In , ^{67}Ga , ^{201}Tl e ^{123}I . A tabela 3.2 apresenta as propriedades destes núcleos.

Radionuclido	Energia dos fotões emitidos (keV)	Tempo meia-vida ($T_{1/2}$)
^{99m}Tc	140	6,0 h
^{111m}In	172 e 247	2,8 dia
^{67}Ga	93, 185 e 300	3,26 dia
^{201}Tl	135 e 167	3,04 dia
^{123}I	159 e 529	13,3 h

Tabela 3.2: tempo de meia-vida de alguns radionuclídeos

O tempo de meia-vida destes nuclídeos é favorável ao paciente pois estará exposto às radiação por um breve período mas implica que os nuclídeos não possam ser armazenados, tendo de ser produzidos na altura de serem utilizados. Para serem produzidos necessita-se de um reactor nuclear ou de um acelerador de partículas, ou ainda de um gerador de radionuclidos.

O gerador de radionuclidos é um dispositivo que contém um nuclídeo que está na origem do radionuclido pretendido mas com um período de vida relativamente maior, o que permite resolver o problema da vida curta do radionuclido a aplicar. Os radionuclidos que derivam desses isótopos poderão então ser utilizados mais tarde. Um

exemplo de utilização deste dispositivo é o utilizado na produção de ^{99m}Tc . O isótopo que está na sua origem é o ^{99}Mo que decai para o isótopo ^{99m}Tc (87%) e para ^{99}Tc (13%).

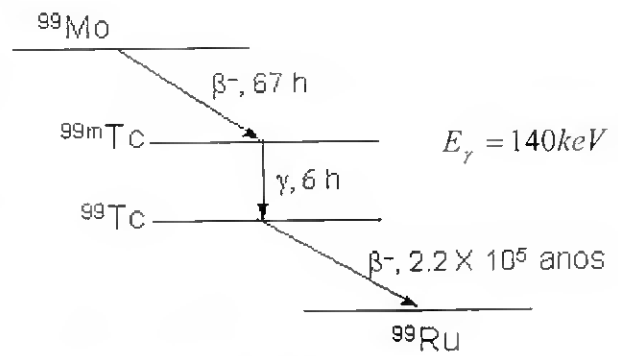


Figura 3.8: decaimento do Molibdénio - 99

3.2.4. Tomografia de Emissão de Fóton Único (SPECT)

Esta técnica consiste em obter imagens tri-dimensionais (adquiridas em diferentes planos) através da medição da actividade dos isótopos previamente administrados ao organismo dum paciente, que decaem emitindo radiação gama.

Para adquirir os diversos planos utilizam-se câmaras gama que fazem a aquisição de séries de imagens planares ao mesmo tempo que rodam à volta do doente como se pode verificar na figura 3.8. Essas imagens dão cortes tomográficos ao longo do corpo (Guy, 2000). A vantagem desta técnica é a obtenção de uma imagem em 3D da distribuição do traçador no paciente. As desvantagens prendem-se com o tempo necessário para a recolha de dados e formação da imagem (envolve um processo matemático complexo) e

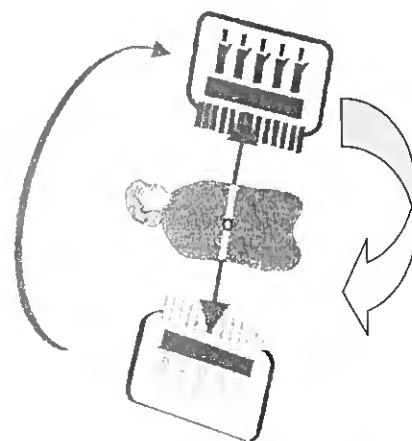


Figura 3.9: SPECT

a dose elevada do radioisótopo que é necessário administrar para obter um sinal de boa qualidade.

O colimador tem grande influência na resolução espacial uma vez que, como se pode verificar na figura, quanto mais estreitos e longos forem os orifícios melhor se conseguirá que apenas os fotões, provenientes da desintegração do radioisótopo inserido no corpo do paciente com uma trajectória perpendicular ao colimador, consigam atingir os detectores. Para que o colimador fosse perfeito teria de apenas aceitar os fotões que

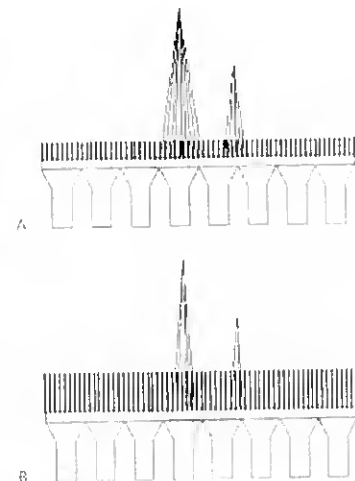


Figura 3.10: colimadores
- Fonte: Schulthess (2003)

tivessem uma trajectória perpendicular a este mas na realidade isso não é possível, aceitando fotões com variados ângulos de incidência. Esse facto provoca pouca nitidez na imagem obtida que terá melhor resolução conforme as características do colimador (orifícios mais longos e estreitos) ou da menor distância da fonte de radiação à câmara.

Em relação ao ruído na imagem (variação estatística entre um pixel e o próximo) será necessário aumentar o número de contagens para o diminuir. Por exemplo, se for aumentado o diâmetro dos orifícios do colimador diminuirá o ruído mas por outro lado diminuirá a resolução. A solução será portanto procurar a relação ideal entre o ruído e a resolução para se obter a melhor imagem possível.

Outras dificuldades prendem-se com o facto de muitos dos fotões que atingem os detectores não seguirem uma trajectória directa da fonte até à câmara, tendo interagido com os tecidos (Dispersão ou *Scattering*) e mudado de direcção. Como exemplo pode-se referir que um fotão com uma energia de 140 keV tem em média 15% de hipótese de interagir com tecidos de apenas 1 cm de espessura (Schulthess, 2003). Em média, aproximadamente 30% dos fotões detectados nesta técnica resultam do *Scattering*.

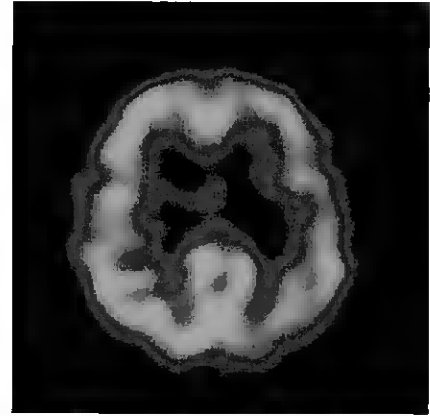
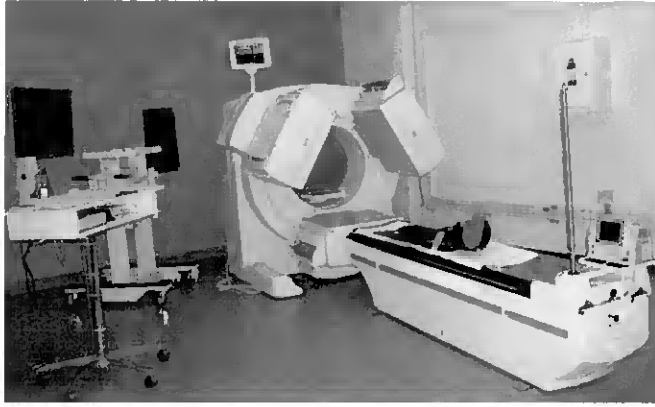


Figura 3.11: aparelho SPECT - Fonte: <http://www.medical.siemens.com>

Esta técnica tem vindo a ser aperfeiçoada de forma a reduzir as desvantagens mencionadas, principalmente no tratamento do ruído durante o processo de reconstrução da imagem. Nos últimos anos as câmaras mais modernas passaram a conter 3 cabeças de detecção para aumentar a sensibilidade à radiação emitida.

3.2.5. Tomografia de Emissão de Positrões (PET)

É uma técnica com muita importância, fundamental nos dias de hoje para a detecção precoce de tumores. A PET permite detectar alterações em tecidos e órgãos, provocadas por estados de doença, antes mesmo de aparecerem sintomas sérios.

Como já referido em 2.1.1., algumas desintegrações nucleares conduzem à emissão de positrões. Nesta técnica o radionuclido administrado ao paciente desintegra-se emitindo positrões de energia cinética da ordem de 1MeV. Se esses positrões estiverem na proximidade de tecidos moles, conseguem percorrer alguns milímetros antes de interagir com electrões da matéria aniquilando-se. A aniquilação dá origem a 2 fotões,

de energias de 511 keV (equivalente à massa de repouso de um electrão), emitidos em direcções opostas. É possível a reconstrução da imagem recorrendo a câmaras gama convencionais mas a energia dos fotões constitui um problema pois a essa energia podem penetrar nos colimadores, perdendo-se contraste na imagem obtida. Acresce o facto de também não serem facilmente detidos na camada de cristais cintiladores que equipam a maioria das câmaras, perdendo-se eficiência. Para resolver essas dificuldades de PET recorre-se a uma técnica denominada por “coincidências”. O paciente está envolvido por detectores que devem responder a cada evento proveniente do seu corpo (emissão de dois fotões diametralmente opostos em relação ao ponto de emissão do radionuclídeo, previamente inserida no seu corpo). Esses detectores são de cintilação e ligados electronicamente de modo a detectarem coincidências, isto é se a radiação registada por cada um deles foi emitida simultaneamente ou com uma pequena diferença de tempo. Uma vez que a detecção é feita por coincidências e não exclusivamente por colimação e existem mais eventos, esta técnica torna-se de melhor resolução que a SPECT. Após a análise das coincidências, esta técnica permite, tal como na SPECT a formação de imagens 3D.

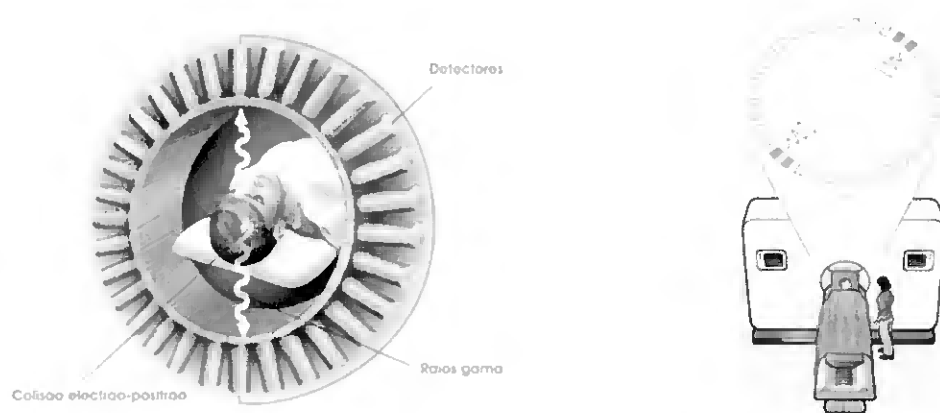


Figura 3.12: princípios da PET

A razão da utilização crescente desta técnica deve-se à mais fácil obtenção dos radionuclídeos emissores de positrões usados e à diminuição do preço do equipamento necessário. Muitos dos radionuclídeos como já foi referido, devido a poderem ser

acoplados a moléculas, poderão ser incluídos em certos processos biológicos possibilitando imagens até então impossíveis de “visualizar”.

Alguns dos radionuclídeos mais utilizados nesta técnica encontram-se na tabela 3.3:

Radionuclido	Tempo meia-vida (min)	Energia máxima dos positrões emitidos (MeV)
^{11}C	20,3	0,96
^{13}N	9,97	1,19
^{15}O	2,03	1,70
^{18}F	109,8	0,64
^{82}Rb	1,26	3,15

Tabela 3.3: alguns dos radionuclídeos mais utilizados

Um dos traçadores PET mais usados é o ^{18}F -flúor-deoxiglicose (FDG).

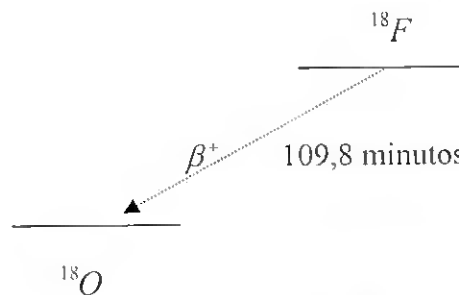


Figura 3.13: decaimento do ^{18}F

Esta molécula é transportada para as células como uma glucose normal, mas após estar na célula não é assimilada como a glucose, ficando lá o flúor radioactivo fixado. É acumulada principalmente em células com um maior metabolismo de glucose como por exemplo no caso das células cancerígenas cerebrais cujo metabolismo é muito elevado. A FDG serve portanto como um importante traçador de tumores cerebrais mas também é bastante utilizado em cardiologia e estudos neurológicos.

Uma desvantagem da técnica PET é o curto tempo de meia-vida dos emissores de positrões o que implica que terão de ser utilizados quase imediatamente após a sua produção. Dos radionuclidos da tabela anterior apenas o ^{82}Rb poderá ser produzido num gerador (a partir do ^{82}Sr), todos os outros são produzidos em ciclotrões (tema aprofundado no tópico seguinte). Este tipo de aceleradores são de custo muito elevado sendo impossível para a maioria dos hospitais adquirir um. Felizmente, as quase duas

horas de tempo de meia-vida do ^{18}F permitem que seja transportado para um hospital que esteja relativamente próximo (a poucas horas de distância).

O futuro desta técnica é ser utilizada em simultâneo com outras técnicas como a TC ou a Ressonância Magnética. A razão desse facto é devido a apesar desta técnica ser indicada para marcar um tumor (por exemplo utilizando o radionuclido FDG), não é eficaz nos tecidos adjacentes saudáveis o que torna a localização exacta do tumor no corpo do paciente mais difícil por não existir referências morfológicas. Utilizando em simultâneo com a PET uma técnica que detecte igualmente os tecidos sãos (referências morfológicas) conseguir-se-á uma imagem mais precisa.

3.3. Radioterapia

A radioterapia é actualmente um exemplo do sucesso da aplicação da física das radiações no tratamento de patologias sendo a principal técnica usada em terapia oncológica. Apesar da sua utilização já ser rotineira, é uma técnica que ainda está em evolução pois é necessário que seja maximizada a dose enviada ao tumor e minimizada em torno deste, nos tecidos saudáveis.

A prática da radioterapia é na realidade quase tão antiga como a descoberta dos raios X. Até à década de 40, apenas eram produzidos raios X de baixa energia. A partir daí foram utilizados tubos de raios X especiais denominados geradores de Van de Graff que conseguiam gerar raios X de 7 MeV ou até superiores. Após 1953 o acelerador linear de electrões foi desenvolvido e assim disponibilizados raios X de grande energia para fins terapêuticos. O acelerador linear de electrões tornou-se a mais importante fonte de radiação por aplicação externa nos centros terapêuticos.

3.3.1. Princípios básicos

A radiação ionizante tem a particularidade de em certas condições e em grandes doses eliminar as células (referido na secção 3.3.2.). Para que o tratamento seja o menos prejudicial possível é necessário, como já referido, que a dose de radiação de grande energia seja depositada no volume do alvo (células cancerígenas) reduzindo portanto a exposição das células saudáveis. Actualmente os tratamentos por radioterapia são efectuados apenas por secções bastante determinadas do paciente, tendo como objectivo

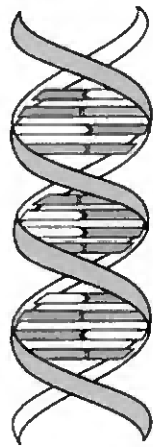
a redução da exposição dos tecidos saudáveis. Os sistemas estão ligados a um computador que vai calculando ao longo do tratamento a dose fornecida a cada ponto e proporcionando uma imagem 3D do volume do alvo e da distribuição da dose a partir de vários ângulos, garantindo assim a uniformidade e eficácia do tratamento.

3.3.2. Eficácia das radiações na eliminação das células cancerígenas

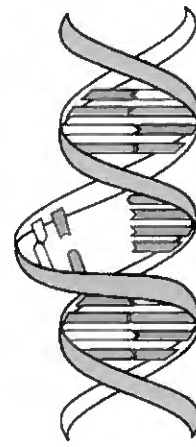
O objectivo do tratamento com radiações é fornecer uma dose de radiação suficiente para “esterilizar” as células cancerígenas impedindo a sua replicação, mas também minorando os danos nas células sãs. Considera-se o termo “dose de radiação” como a dose de radiação absorvida a partir de um feixe de radiação incidente pelas células. Esse termo torna-se portanto uma medida dos danos moleculares infligidos às células.

Foram investigados muitos tipos de radiações (feixes de fótons, electrões, prótons, píons e até núcleos “pesados” como o carbono-12) no seu comportamento e eficácia na aniquilação das células cancerígenas, tendo-se obtido resultados bastante diferentes. A maioria das clínicas de tratamento oncológico usa feixes de prótons e electrões, as técnicas de custo mais acessível. Estes tipos de radiação provocam ionizações e quebra de ligações químicas nas células, afectando o seu normal funcionamento. Essas ionizações podem corromper células muito importantes para a replicação celular ou para o metabolismo. Os danos causados das moléculas de DNA nos núcleos das células são os principais causadores da esterilização destas pois o DNA é que possui os seus códigos de funcionamento. Foram desenvolvidos modelos que explicam a forma como a

radiação esteriliza as células cancerígenas provocando basicamente a quebra das ligações que unem a hélice dupla da cadeia de DNA.



*Figura 3.14: Cadeia de DNA antes de ser
exposta a radiação ionizante*



*Figura 3.15: Cadeia de DNA após ser
exposta a radiação ionizante*

Testes realizados em pacientes provam também que se a radiação for fornecida em pequenas doses (pequenas frações por dia durante algumas semanas) as células sãs poderão ter a capacidade de restabelecer-se dos efeitos desta, pois têm essa aptidão, ao contrário das células cancerígenas que depois de uma quebra da cadeia de DNA são incapazes de reparar os danos. A determinação das doses indicadas para cada fração de radiação fornecida num tratamento de forma a minimizar os danos nas células sãs e atingir-se a esterilização das células cancerígenas é uma das principais áreas de investigação da actualidade.

3.3.3. Geração de radiação de alta energia nos hospitais - Aceleradores de partículas

Para a obtenção dos radionuclídeos necessários quer para o diagnóstico ou terapia oncológica recorre-se a aceleradores de partículas, geradores ou reactores. Nesta secção é descrito em termos gerais os princípios de funcionamento de três dos mais importantes aceleradores de partículas utilizados para esse fim: os aceleradores lineares, os ciclotrão e os sincrotrão.

Aceleradores Lineares (LINAC – Linear Accelerator)

Para um tratamento oncológico convencional é necessário que as máquinas acelerem electrões até energias da ordem da dezena de MeV, o que requer campos eléctricos elevados e componentes de tecnologia avançada. Os Aceleradores Lineares, ou LINAC, são os mais utilizados como fonte de radiação para a radioterapia com feixes de electrões, protões ou de raios-X, tendo sido construídos pela primeira vez na década de 1950, usando grandes diferenças de potencial alternadas que “empurram” as partículas por um tubo em linha recta. Num acelerador

linear as partículas carregadas são injectadas a partir da fonte. A direcção do campo eléctrico inverte-se milhões de vezes por segundo e a sua

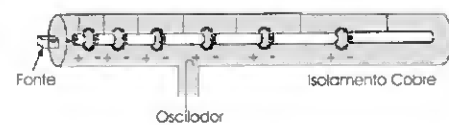


Figura 3.16: acelerador linear

estrutura permite que as partículas fiquem agrupadas e isoladas de cada vez que o campo eléctrico inverte acelerando-as.



Figura 3.17: Sala de
tratamento

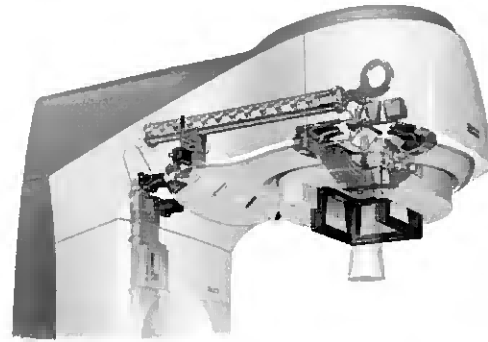


Figura 3.18: Componentes fundamentais do acelerador
linear

Estes aparelhos estão normalmente localizados em “bunkers” de betão, subterrâneos, de forma a minorar a exposição da população hospitalar à radiação produzida.

No acelerador, os electrões terão de ser acelerados a níveis de energia muito superior comparando com um tubo de raios-X. Na zona do alvo, que pode ser de tungsténio, existe uma cavidade denominada “Klystron” que consegue acelerar os electrões a uma velocidade próxima da luz. Após essa fase o feixe de fotões obtido



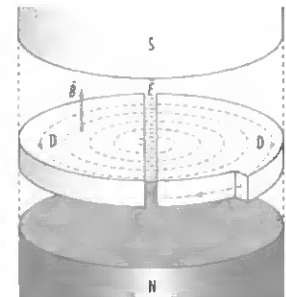
Figura 3.19: diagrama de um
acelerador linear

atravessa os colimadores direccionando-se para os órgãos em tratamento (Greene, 1997). Estes aparelhos permitem uma modularidade interessante pois podem ser utilizados para feixes de raios-x, electrões, fotões, sem ser necessário um procedimento complexo podendo bastar apenas substituir ou remover o alvo, conforme o tipo de feixe pretendido, alvo esse que é colocado no trajecto.

Aceleradores Ciclotrão

O Acelerador Ciclotrão foi inventado por Ernest Lawrence em 1929. Construído pela primeira vez em 1932, na Universidade da Califórnia, em Berkeley, acelerava partículas carregadas (electrões, prótons, iões pesados como os núcleos de deutério, de hélio, etc.) de modo a poderem ser usados em variadas aplicações, como por exemplo, em terapias oncológicas. O Ciclotrão é constituído por duas peças de cobre semi-circular em forma de D colocados num campo magnético \vec{B} uniforme, que lhes é perpendicular.

Entre essas peças de cobre estabelece-se uma diferença de potencial, cuja polaridade é alternada. Um próton animado de uma dada velocidade \vec{v} penetra no D de cobre da esquerda e ficando sob a influência do campo magnético \vec{B} , a força



magnética a que fica sujeito provoca um movimento circular

Figura 3.20: campo magnético - Fonte: Milner (2001)

uniforme de dentro para fora, descrevendo uma trajectória de raio r .

$$F = m \frac{v^2}{r} = qvB \Leftrightarrow r = \frac{qB}{mv} = \frac{qB}{p}$$

Apesar de manter o módulo da velocidade, a força magnética altera a direcção da

trajectória do próton, ou seja, é uma força centrípeta ($\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$, logo perpendicular a

\vec{v} e \vec{B}). Os ciclotrões são utilizados, em contexto hospitalar, para a produção de radioisótopos para as técnicas PET (Tomografia de Emissão de Positrões) e para

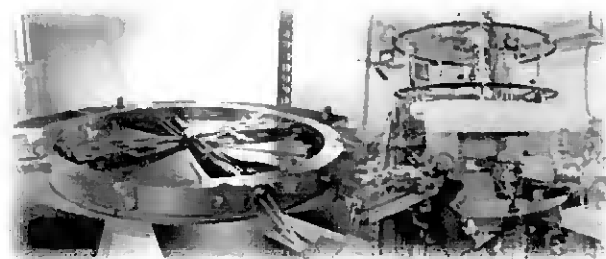


Figura 3.21: acelerador ciclotrão - Fonte: <http://www.iba-worldwide.com>

a SPECT (Tomografia de Emissão Fotónica Simples) ou como fonte de radiação para radioterapia.

Aceleradores Sincrotrão

O acelerador sincrotrão é o mais recente e poderoso de todos os tipos de aceleradores. É um sistema complexo que basicamente consiste num tubo na forma de um largo anel através do qual as partículas viajam. O tubo é rodeado por electroímans que mantêm as partículas no centro deste. As partículas entram no tubo após terem sido aceleradas num acelerador linear acoplado a energias na ordem de vários MeV. Após entrarem no anel são acelerados em vários pontos deste em cada volta completa ao acelerador. Para manter as partículas no anel

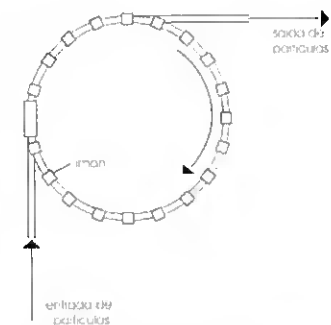


Figura 3.22: princípio básico de funcionamento

numa trajectória correcta, a energia dos electroímans é aumentada à medida que as partículas também adquirem energia. Em apenas alguns segundos as partículas poderão atingir energias superiores a 1 GeV (Scharft, 1994). A figura em baixo refere-se às instalações do acelerador sincrotrão de Chiba (HIMAC), no Japão, onde são acelerados

ções pesados para fins terapêuticos. É de realçar que o sistema envolve dois aceleradores acoplados, um LINAC e outro sincrotrão.

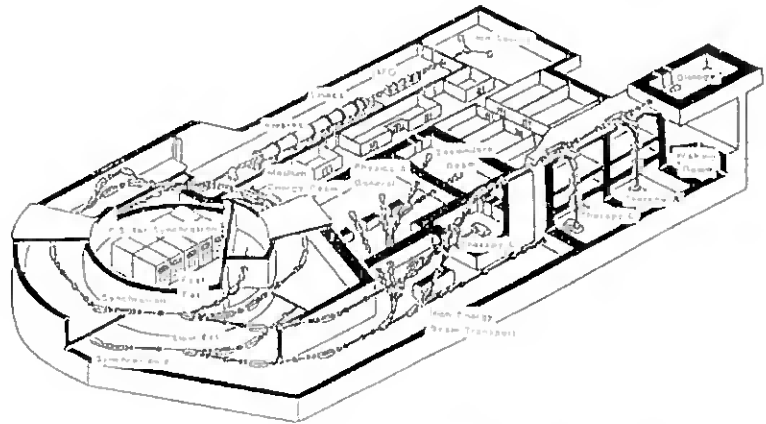


Figura 3.23: planta das instalações de CHIBA(HIMAC) -

Fonte: <http://www.nirs.go.jp/ENG/facilt7b.htm>

3.3.4. Terapia por feixes de fótons

Na terapia com fótons usa-se os aceleradores lineares em que os electrões acelerados nestes “batem” em “foils” metálicos. Os fótons apresentam uma muito maior penetrabilidade no tecido humano que os electrões. Ao penetrarem no tecido humano irão interagir nomeadamente com os electrões orbitais, dependendo essas interacções da energia que possuem. As interacções, como já referido anteriormente, poderão ser por efeito fotoeléctrico, de Compton ou por produção de pares, diminuindo a intensidade do feixe de fótons com a

profundidade dos tecidos, até finalmente atingir o tumor, como mostra a figura *a*). Essas interacções com os tecidos cancerígenos é que impedirão a

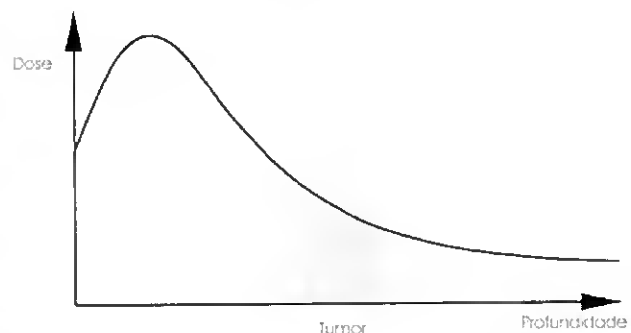


Gráfico 3.1: Dose vs. Profundidade

replicação destes. É importante lembrar que as doses aplicadas terão de ser faseadas para que exista a possibilidade dos tecidos saudáveis atingidos poderem restabelecer-se (como referido na secção 3.3.2.) mas as interrupções também não podem ser longas nem irregulares para evitar que as células cancerígenas também recuperem.

Para minorar o efeito nos tecidos saudáveis utilizam-se técnicas em que se modulam os

feixes sendo o alvo comum o tumor, como mostra a figura b).

Desta forma atinge-se eficácia máxima na zona do tumor

diminuindo a dose administrada nos tecidos saudáveis adjacentes.

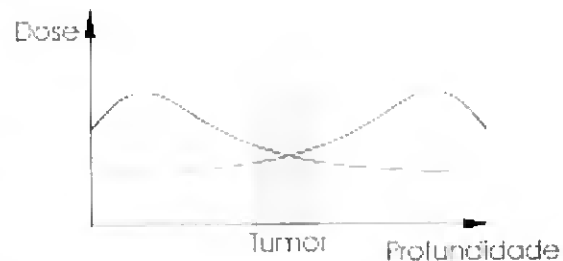


Gráfico 3.2: Dose vs. Profundidade

3.3.5. Terapia com feixe de electrões

O feixe de electrões é obtido a partir do acelerador linear, removendo o alvo de tungsténio. Os electrões saem directamente do acelerador para o paciente, após passarem por colimadores para serem direccionados. Os feixes de electrões são extremamente úteis no tratamento de lesões superficiais até um máximo de 6cm da superfície da pele do paciente. É o exemplo do pós-operatório dum tumor na mama, em que poderão ainda restar algumas células tumorais junto à cicatriz da operação, sendo tratadas dessa forma. Após alguma profundidade nos tecidos a eficácia diminui drasticamente devido às interacções dos electrões com o meio antes de atingir o alvo pretendido.

3.3.6. Terapia por hadrões

Dois dos maiores desafios que se colocam no tratamento do cancro é minimizar os danos nos tecidos saudáveis e minorar os efeitos secundários do tratamento. Estes desafios são ainda mais importantes quando se trata de órgãos muito sensíveis ou então quando os tratamentos são destinados às crianças. Para controlar tumores cujas

características ou localização não permitem que o tratamento convencional seja eficaz, existem outros tipos de radiação que poderão ser mais indicados quer por atingirem mais facilmente uma determinada localização do tumor ou por causar menos danos às células sãs em torno deste. Esses tipos de radiação alternativos poderão incluir feixes de prótons, neutrões, píons negativos ou iões pesados (ex: hélio, carbono, néon, árgon). Os hadrões têm uma massa muito superior à dos electrões, sendo por isso muitas vezes referenciados como partículas pesadas. Por possuírem uma

maior massa sofrem menos desvios ao penetrarem nos tecidos, comparando com os electrões. A irradiação com prótons ou por iões pesados é denominada por irradiação com partículas pesadas carregadas ou hadrões.

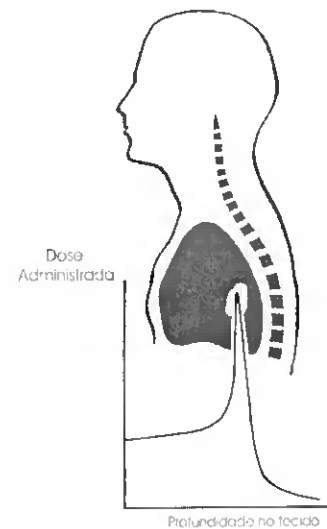


Figura 3.24: dose vs.

Profundidade - Fonte:

Hendee (1999)

a) Terapia com feixes de prótons

A vantagem dos prótons é que eles depositam grande parte da sua energia num pequeno volume, tornando o seu uso ideal para o tratamento de tumores que se situam perto de órgãos delicados, onde a precisão é vital. Quando se pretende tratar tumores situados em zonas mais profundas do corpo humano poderá ser necessário acelerar os prótons a energias na ordem dos 250 MeV. Para acelerar prótons, e dependendo da energia necessária, poderão ser utilizados aceleradores ciclotrão, sincrotrão ou até ambos acoplados. Todas estas especificações levam a que para a construção de um hospital com a possibilidade de ter este tipo de terapia seja dispendiosa (duas a três vezes os custos da terapia convencional) e exista um número reduzido de centros com terapia hadrónica.

b) Terapia com feixes de neutrões

A matéria é composta aproximadamente por uma quantidade igual de prótons e de neutrões. A utilização dos neutrões na terapia do cancro deve-se ao facto de a sua perda de energia ao penetrar no tecido seguir um padrão diferente dos raios X ou dos electrões, tornando-os mais apropriados para o tratamento de determinados tumores. Como exemplo poderá referir-se que o cancro mamário em que existe uma maior

oxigenação dos tecidos. Em geral as células são menos resistentes à radiação num ambiente rico em oxigénio porque a sua presença contribui para a oxidação das moléculas danificadas pela própria radiação, sendo que a terapia com neutrões seja indicada para estes casos. Outro exemplo das vantagens da terapia com feixes de neutrões é no caso de melanomas que possuem uma excepcional capacidade de regeneração se irradiados com outro tipo de radiação mas onde se obtém melhores resultados com os neutrões. Este tipo de terapia está também indicada para o tratamento de tumores nas glândulas salivares, nos adenóides, na próstata, nos tecidos moles ou nos ossos (Hendee, 1999).

Os aceleradores de sincrotrão são utilizados para produzir neutrões por aceleração de prótons que chocam contra alvos de berílio produzindo os neutrões necessários. Esta terapia com neutrões é mais dispendiosa do que a terapia de raios X ou de electrões, mas comparável à com prótons.

e) Terapia com feixes de píões negativos

Os píões negativos (π^-) são as partículas de menor massa na família dos hádrões. O seu período de vida é de apenas 26 ns decaindo após esse curto intervalo de tempo para um múon, o qual por sua vez decai para um electrão:

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu \quad (\tau = 2,603 \times 10^{-8} \text{ s})$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu \quad (\tau = 2,197 \times 10^{-6} \text{ s})$$

Apesar de 26 ns ser um espaço de tempo muito curto é suficiente para produzir os piões negativos num acelerador e conduzi-los até ao alvo onde ao se desintegrarem emitem as partículas que destroem o tumor. Devido ao tempo de vida ser muito curto a distância entre a fonte e o alvo terá de ser reduzida (poucos metros) para que uma boa parte dos piões negativos sobreviva até o atingir.

Tendo os piões negativos carga negativa são atraídos para os núcleos de oxigénio, carbono ou nitrogénio dos tecidos, o que os torna bastante indicados especialmente para o tratamento de tumores em tecidos moles, ricos em oxigénio. Neste tipo de tecidos aproximadamente 73% dos piões negativos são capturados pelo oxigénio, 20% pelo carbono e 3% pelo nitrogénio (Hendee, 1999).

d) Terapia com outros feixes de iões pesados

Este tipo de terapia poderá ser mais eficaz devido ao facto de quanto mais pesado for o ião sofrer menos desvios na sua trajectória até atingir o tumor, permitindo assim uma maior precisão no tratamento. Caso a caso e devido à sua localização será escolhido o ião indicado para o tratamento do tumor. A tabela seguinte mostra a deposição da dose em profundidade (em centímetros) para ^{12}C a várias energias, comparada com a radiação X e γ .

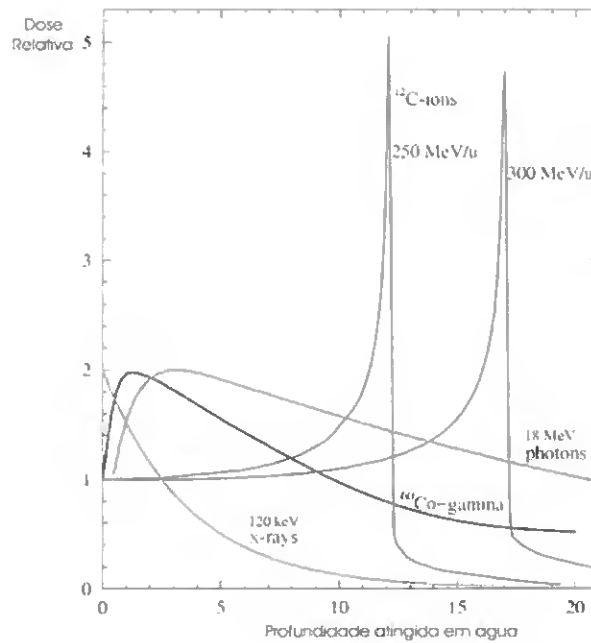


Gráfico 3.3: Dose vs. profundidade

Devido aos custos elevados do tipo de equipamentos necessários à terapia por feixes de iões pesados existem poucos centros de tratamento no mundo. Como exemplo, relativamente a terapia com feixes de iões de carbono, poderá referir-se que actualmente existem apenas três instalações no mundo (duas no Japão e uma na Alemanha). A tendência futura será de aumento do número de instalações com este tipo de terapia, havendo já alguns centros planeados ou em início de construção. É de realçar que a terapia convencional se está a tornar cada vez mais sofisticada, aumentando os custos de tal forma que futuramente poderão aproximar-se dos custos da terapia por outros iões pesados.

3.3.7. Sintomas num paciente após o tratamento

O paciente não sente nenhum dos milhões de interações das radiações com a matéria do seu corpo, pois os nervos não as conseguem detectar, apesar de um excesso de dose poder dar um aquecimento aos tecidos ou até queimaduras. Apenas sentem os efeitos do tratamento após o sistema imunológico actuar sobre as células que foram esterilizadas e as retirar. Esse intervalo de tempo varia com o ciclo de vida de cada célula e da estrutura e sensibilidade dos tecidos irradiados. Sintomas de um tratamento por radiações normalmente ocorrem 2 ou 3 semanas após este estar concluído. Outros efeitos podem ocorrer durante ou após 2 ou 3 semanas como manchas vermelhas na pele, náuseas, vómitos ou diarreias.

3.3.8. Intercâmbio entre médicos e físicos nos procedimentos oncológicos

O paciente durante o seu tratamento interage com um equipa envolvida no tratamento: médicos, técnicos de radioterapia, físicos, enfermeiros, entre outros. A coordenação nestas equipas é muito importante pois todos os seus elementos são fundamentais. Os físicos tornam-se bastante importantes em muitas fases do tratamento pois são responsáveis por todos os aspectos técnicos e o bom funcionamento dos equipamentos nomeadamente as calibrações e avaliam as evoluções constantes dos aparelhos, para um possível *upgrade* do mesmo ou até substituição. Os físicos investigadores são os responsáveis pela execução do planeamento prescrito pelos médicos e seu controle através de simulações dos tratamentos. Todo este processo necessita de um grande entendimento e coordenação entre todas as partes envolvidas.

4. Uma aplicação das novas tecnologias em Medicina Nuclear

A área da imagiologia abrangida pela Medicina Nuclear terá ainda de evoluir devido ao facto de a resolução espacial ter de ser melhorada e a dose ministrada ao paciente diminuída. Nesta secção será descrita a aplicação de uma nova tecnologia em Medicina Nuclear que tem precisamente como objectivo o aumento da resolução espacial da imagem, reduzindo também a dose de radiação administrada ao paciente.

4.1. Novos detectores e sistemas de processamento de sinal e dados

Antes de descrever a câmara em desenvolvimento no projecto “Detectores de alta resolução para raios gama” será importante referir algumas propriedades gerais dos principais tipos de detectores para medicina nuclear disponíveis no mercado, a sua eficiência e resolução. É de realçar que os detectores de cintilação são os mais utilizados pois devido à sua grande densidade são os que melhor respondem às radiações usadas em Medicina Nuclear, da ordem das poucas centenas de keV.

a) Detectores de cintilação

Um detector de cintilação é, geralmente, formado por um cristal acoplado a um fotomultiplicador. Estes detectores partem da propriedade que certos cristais têm de, ao serem atravessados por radiação ionizante, excitarem parte dos seus electrões para um nível energético mais elevado, emitindo, após decaimento, fotões de baixa energia

(fotões de cintilação). Quanto maior for a quantidade de radiação absorvida maior será a luz emitida. Esses fotões de cintilação emitidos produzirão, por efeito fotoelétrico no fotocátodo do fotomultiplicador, fotoelectrões.

Os fotomultiplicadores que são acoplados ao detector ampliam e convertem os fotoelectrões emitidos, originando um sinal electrónico de maior amplitude que poderá ser processado, como se pode verificar na figura seguinte.

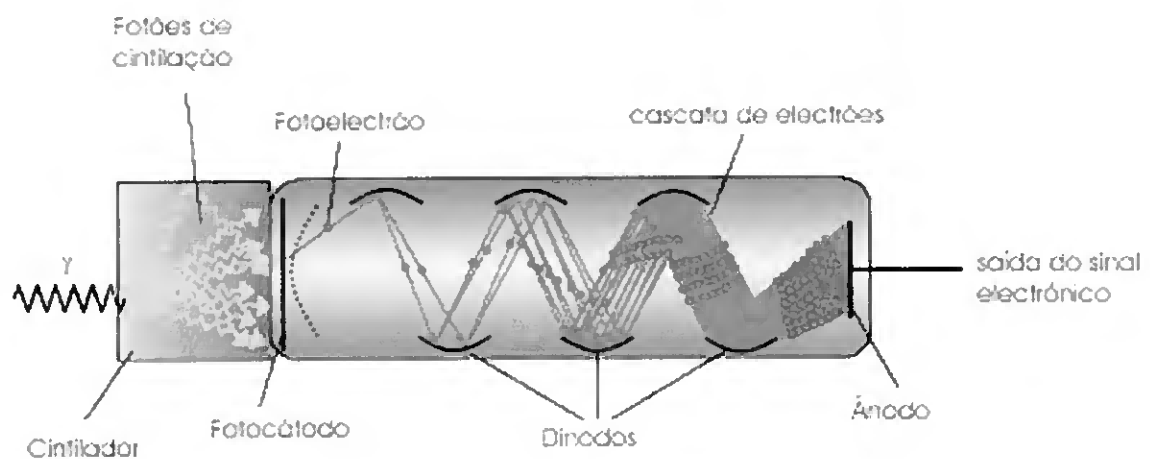


Figura 4.1: funcionamento básico de um fotomultiplicador. Adaptado de:

www.iop.org/journals/PhysEd (2001)

O sinal electrónico produzido permitirá, após o tratamento dos dados, fornecer a informação acerca da quantidade de energia absorvida pelo cristal.

Os detectores de cintilação mais usados são os de iodeto de sódio dopado com tálio (NaI:Tl), iodeto de céσιο dopado com tálio (CsI:Tl), óxido de bismuto e germânio (BGO), perovskite de ítrio e alumínio dopado com cério (YAP:Ce), ortossilicato de lutécio e ítrio dopado com cério (LYSO:Ce). Destes os mais usados nas câmaras Anger comerciais são os de NaI (Tl).

b) Detectores de germânio

Os detectores de germânio ($Z=32$) são detectores semicondutores que são utilizados para a detecção de radiações de menor energia por serem bastante transparentes à radiação gama devido ao facto do seu número atómico ser inferior ao dos cristais utilizados nos detectores de cintilação. Contudo este tipo de detectores apresenta uma melhor resolução em energia quando operados a baixas temperaturas, sendo normalmente arrefecidos por azoto líquido. A energia necessária para criar pares electrão-lacuna é cerca de 10 a 100 vezes menor do que nos detectores de cintilação e se não fossem arrefecidos poderiam, os electrões a uma temperatura ambiente, ser excitados espontaneamente, originando uma razão sinal/ruído desfavorável.

c) Detectores de silício

Os detectores de silício ($Z= 14$), tais como os de germânio, são detectores semicondutores e permeáveis à radiação de alta energia sendo utilizados para a detecção de partículas carregadas ou para formação de imagens por raios X ou radiação gama de baixa energia (ordem dos 100 keV), apresentando elevada resolução como por exemplo em mamografia.

Devido à existência de uma grande procura deste material para a construção de dispositivos electrónicos, hoje temos uma oferta razoável deste material e é objecto constante de investigação por parte de grandes empresas.

4.2. Descrição e importância do projecto ISPA

O caso em estudo que iremos abordar com algum detalhe, refere-se exactamente à utilização de um detector de silício acoplado a um cristal cintilador. O Projecto ISPA (*Imaging Silicon Pixel Array*) tem como objectivo o desenvolvimento de uma câmara para radiação gama recorrendo a materiais de detecção pouco convencionais e a tratamento digital de sinal.

A câmara é compacta e de alta resolução permitindo obter imagens de pequenos órgãos humanos ou animais. A limitação actual é exactamente as dimensões do detector serem da ordem de 1cm.

Este projecto é realizado no âmbito da colaboração entre os laboratórios de investigação do LIP/Pólo Algarve (Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas), o Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve, o CERN (Conseil Européen de Recherche Nucleaire) na Suíça, e o INFN-Roma (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) na Itália.

O objectivo, como referido, é utilizar técnicas de detecção de radiações ionizantes correntemente utilizadas em física das altas energias, na realização do protótipo de um sistema de imagem bidimensional, proceder à sua caracterização e avaliar as suas potencialidades junto dos profissionais de imagiologia médica. Este novo tipo de detector resolverá grande parte dos inconvenientes anteriormente referidos (cap. 3.2.4.) das tradicionais Câmaras de Cintilação Anger actualmente em uso e que são a base dos equipamentos TC e SPECT. A dimensão do detector e a estrutura da electrónica permitem uma maior mobilidade do equipamento, uma melhor aproximação do sensor ao paciente, reduzindo as doses de traçadores radioactivos administradas ao próprio.

A câmara gama deste projecto, conforme pode ser visto no esquema, consiste numa câmara optoelectrónica híbrida, o detector é híbrido ou seja, o sensor é independente do *chip*. Num cilindro sob vácuo a janela de entrada é feita de um cristal cintilador de $\text{YAIO}_3(\text{Ce})$ com um fotocátodo (S20). Depositado no lado interior do cilindro encontra-se um sensor bidimensional de silício.

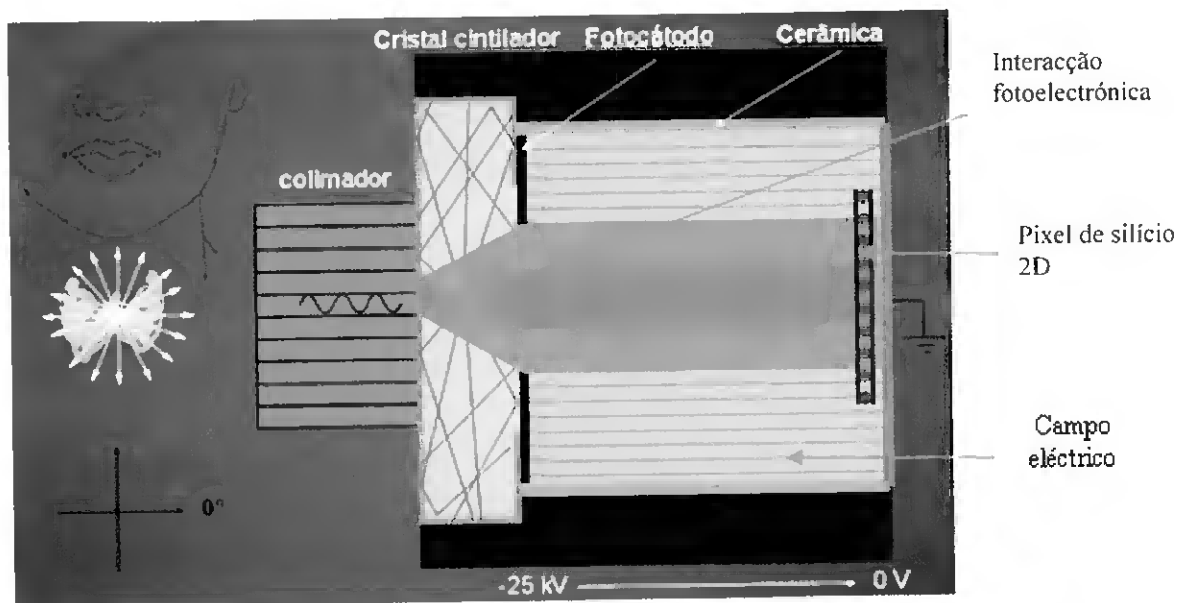


Figura 4.2: princípio de funcionamento do tubo ISPA - cortesia de Patrick Sousa

Ao ser aplicado um potencial eléctrico entre o fotocátodo e o detector de Si cria-se uma janela em energia que poderá fazer a selecção dos fotões emitidos.

Ao paciente é administrada uma substância com um isótopo radioactivo. No caso do $\text{Tc}^{99\text{m}}$ o equipamento está dimensionado para a emissão de fotões γ de 140 keV. Os fotões emitidos geram luz de cintilação no cristal cintilador, a qual provoca a ejeção de electrões do fotocátodo, os quais são detectados no sensor pixel de silício.

Segue-se um sistema electrónico de processamento digital do sinal, sob controlo de uma placa de processamento analógico. A imagem é apresentada num monitor de computador existindo para tal um protocolo electrónico devidamente programado para comunicação entre a placa e o próprio PC. O centróide da distribuição de fotoelectrões

permite determinar com elevada precisão a coordenada de entrada do fóton inicial, dando origem à reconstrução de uma imagem.

Testes já realizados no laboratório do CERN demonstraram as excelentes capacidades de imagem de um protótipo de um tubo ISPA, capaz de resoluções espaciais inferiores ao milímetro, conjugando a elevada resolução intrínseca do sensor de radiação à maior proximidade da câmara ao órgão em estudo, permitida como referido pelas reduzidas dimensões do sensor.

Na figura 4.3 podemos ver algumas das principais fases anteriormente descritas.

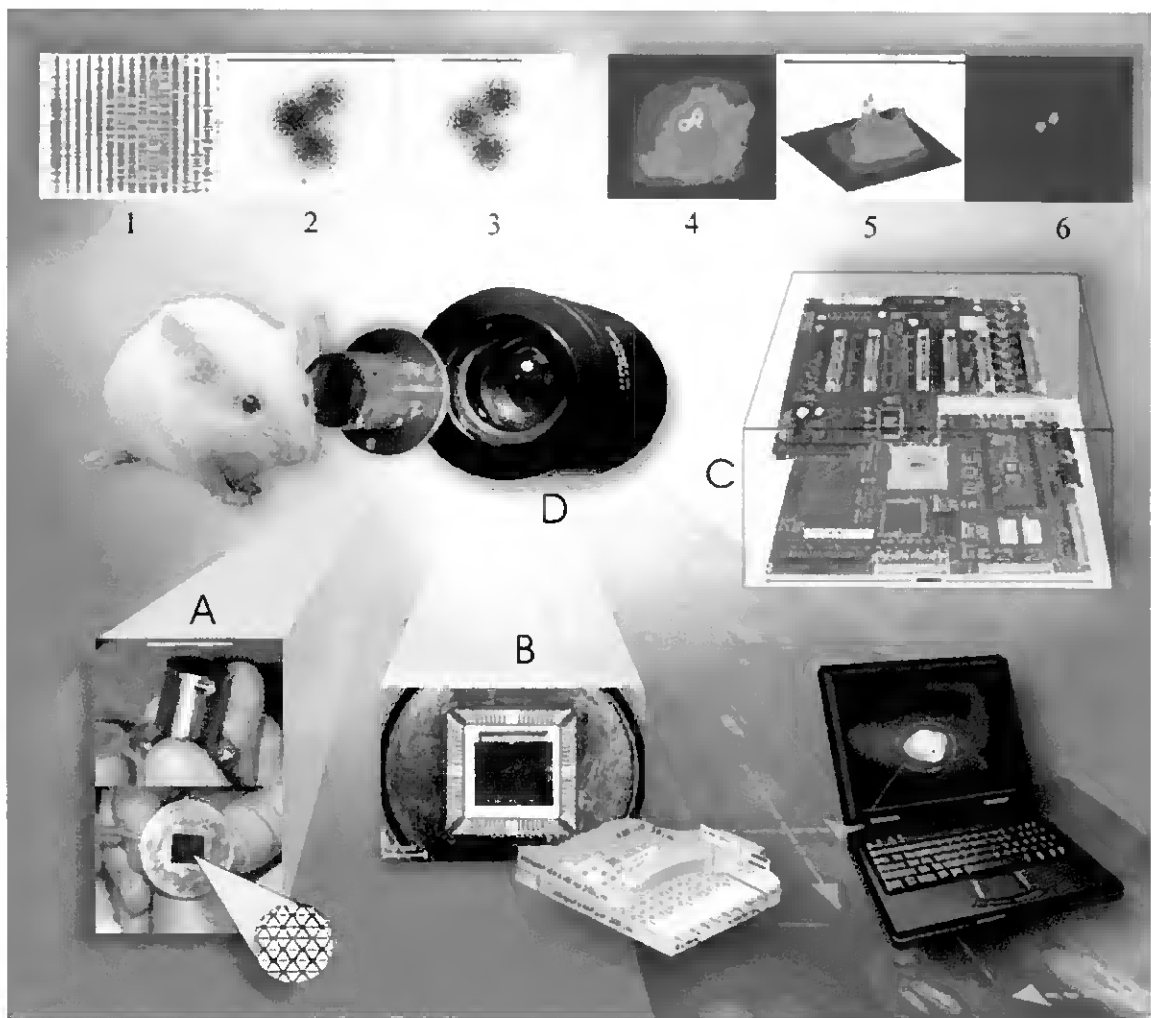


Figura 4.3: Imagem global do detector ISPA e seus constituintes. Os resultados preliminares obtidos encontram-se no topo da image. Cortesia de Patrick Sousa

Legenda da figura 4.3:

Resultados experimentais (1+2): 1- imagem sem o cálculo do centro de massa; 2-

Imagem de um colimador com 3 furos de 1mm

3- Simulação de Montecarlo; 4+5+6- Imagens de um colimador com 2 furos de 250 μ m

A- colimador colocado em frente da janela de YAP; B- chip de Si; C- placas de aquisição e tratamento de dados; D- detectores

Após a montagem do detector e sistema de aquisição de dados, seguir-se-ão testes em ratos no laboratório de experiências com ratos no Instituto Tecnológico e Nuclear. O sucesso destes testes determinará a sua utilização em Biologia Molecular, nomeadamente ao estudo da acção de novos radiofármacos e em imagiologia médica, mais provavelmente no estudo do desenvolvimento de tumores em ratos e eventualmente em ensaios clínicos em ambiente hospitalar.

4.3. Apresentação do contributo pessoal no projecto

O desenvolvimento da câmara ISPA na altura da elaboração desta dissertação encontrava-se num tempo de espera entre estudar as possibilidades do tubo ISPA com electrónica convencional e o estudo desse mesmo tubo associado a uma electrónica dedicada portátil. Estando as placas de electrónica a ser fabricadas, a nossa contribuição no projecto naquele momento apenas pôde ser ao nível da automatização da mesa *scanner*, o que, apesar de ser uma parte menos nobre do projecto, implicou em primeiro

lugar tomar conhecimento do projecto e seus desenvolvimentos e em segundo aprender uma ferramenta muito relevante para o ensino experimental das Ciências que é o LabView. Os futuros desenvolvimentos destes trabalhos serão naturalmente seguidos por nós, fora do domínio temporal desta dissertação.

Devido às dimensões do detector, $8 \times 6,4 \text{ mm}^2$, a imagem de órgãos, mesmo pequenos como os de ratos ou da tiróide infantil, vão exigir o varrimento de órgãos. Nesta fase do projecto, para o caso da imagiologia animal optou-se por ter o detector fixo e deslocar o animal. Para atingir esse fim recorreu-se a uma associação de 2 motores passo a passo que montados numa mesa xy permitirão o movimento pretendido. Os motores passo a passo são utilizados em variadíssimas aplicações tecnológicas nos dias de hoje como é o exemplo das impressores, relógios, câmaras de vigilância e os scanners.

Apesar de um motor passo a passo converter energia eléctrica em energia mecânica como qualquer outro motor eléctrico a diferença básica neste caso é que é alimentado com sinais digitais, o que proporciona muitas vantagens sobre os demais motores eléctricos. Um motor passo a passo é um dispositivo digital que processa e obedece a informações digitais (tal como as dadas por um computador) para atingir um resultado que é um movimento controlado. É basicamente um motor eléctrico conduzido por impulsos digitais devidos a uma pequena diferença de potencial aplicada. A cada impulso corresponde um movimento rotacional (um passo) que é apenas uma fracção de uma rotação completa. Contando os impulsos aplicados será possível determinar com exactidão a rotação do motor. Essa contagem representa portanto a quantidade de movimento realizada pelo motor. A precisão do movimento de um motor passo a passo é determinada pelo número de passos necessários para realizar uma volta completa. Quanto maior o número de passos para realizar uma volta, maior é a precisão do motor.

Um motor passo a passo converte, portanto, mecanicamente, impulsos digitais em movimento rotacional. Essa rotação não está só directamente ligada ao número desses impulsos digitais mas também à sua frequência que determina a velocidade do motor, podendo esta ser controlada. Outra vantagem de um motor passo a passo é a capacidade de após parar o movimento na localização pretendida poder ainda deslocar-se para outra posição sem necessitar de voltar ao posicionamento inicial.

Aplicando uma lógica adequada, um motor passo a passo poderá tornar-se bi-direccional, sincronizado, concedendo acelerações e pausas rápidas, movimento reverso, e permitindo uma fácil interface com outros mecanismos digitais. Com o auxílio de circuitos externos de controlo, estes motores de corrente contínua poderão inverter o sentido de rotação ou variar sua velocidade . Para que um motor passo a passo funcione é necessário que sua alimentação seja feita de forma sequencial e repetida. Não basta apenas ligar os fios do motor a uma fonte de energia mas sim ligá-los a um circuito que execute a sequência requerida pelo motor.

O motor é constituído por 4 bobinas que ao serem activadas uma de cada vez produzem um pequeno deslocamento no rotor. Este deslocamento ocorre simplesmente pelo facto de o rotor ser magneticamente activo e a activação das bobinas criar um campo magnético intenso que actua no sentido de se alinhar com as pás do rotor. Para que se obtenha uma rotação constante é necessário que a activação das bobinas seja periódica.

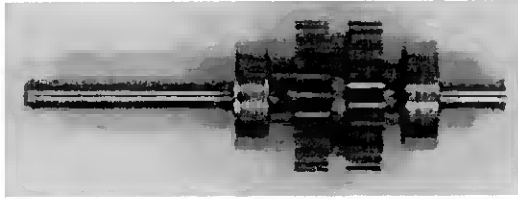


Figura 4.4: Rotor

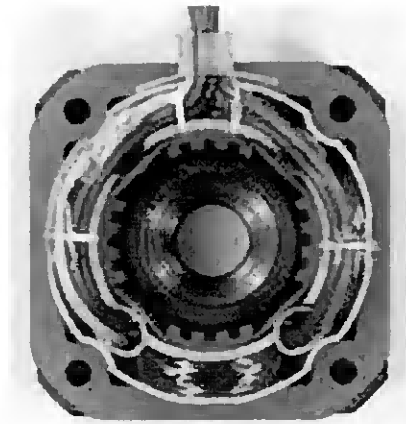


Figura 4.5: trave fixa onde as bobinas são enroladas

A porta paralela é uma interface de comunicação entre o computador e um periférico. São vários os periféricos que utilizam este dispositivo de comunicação para enviar e receber dados para o computador (exemplos: Scanners, Câmeras Fotográficas ou de vídeo, Unidade de disco removível e outros).

Conhecendo um pouco de electrónica e dominando uma linguagem de programação como o LabVIEW, poderá desenvolver-se um programa que controle um aparelho (neste caso um motor passo a passo) ligado à porta paralela, utilizando um cabo paralelo como meio de transmissão. A porta paralela pode portanto ser utilizada de uma maneira não convencional, isto é, não somente para ser utilizada com uma impressora mas também com qualquer outro aparelho, controlando-o através do computador.

A Porta Paralela está ligada directamente à *motherboard* do computador. Por essa razão é necessário muito cuidado ao ligar circuitos electrónicos a essa porta, pois, uma descarga eléctrica ou um componente com a polaridade invertida, poderá causar danos irreparáveis ao computador.

O computador geralmente possui 3 portas: LPT1, LPT2 e LPT3 (alguns possuem LPT4). Cada porta dessas possui 3 endereços: *data*, *status* e *control*. Esses endereços estão numa ordem sequencial. Isso quer dizer que se a porta *data* tem o endereço hexadecimal 0x038, então o endereço correspondente de *status* é 0x0379 e o *control* é 0x037a. Estes valores podem mudar conforme o computador, logo é necessário identificar o endereço correcto para a porta utilizada (o que poderá ser facilmente efectuado no painel de controlo do Windows, por exemplo).

O cabo paralelo com um conector DB25 (25 pinos, onde cada pino tem um nome que o identifica) fica na parte de trás do computador e é através deste que o cabo paralelo se liga ao computador para poder enviar e receber dados.

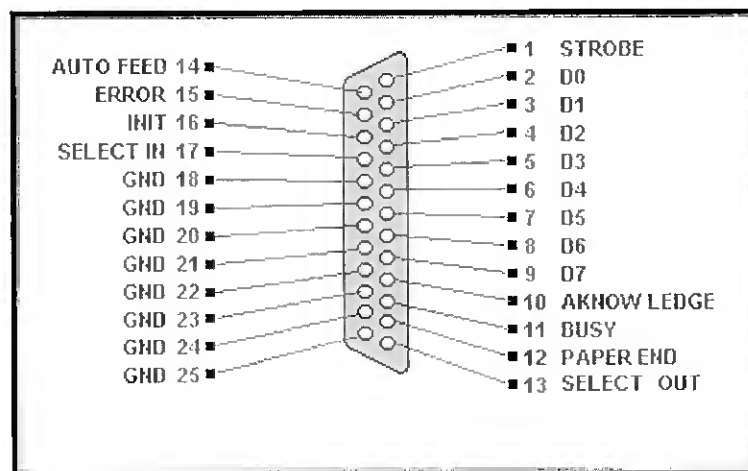
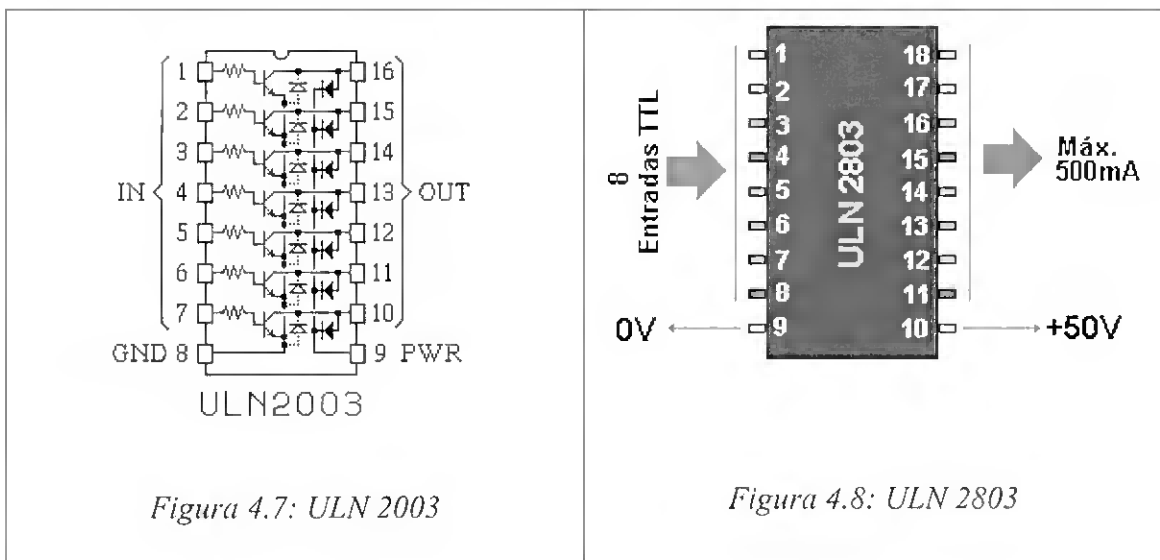


Figura 4.6: esquema dos 25 pinos do DB25

Dos 25 pinos apenas 5 (10,11,12,13,15) são de entrada de dados no computador. Todas as saídas da porta paralela são lógicas. Inserindo "1" em um bit da porta corresponde que esse pino terá saída +5V. Entretanto os pinos SELECT_IN, AUTOFEED e STROBE possuem uma lógica invertida. Isto é, inserindo "1" nesses pinos corresponde a uma saída de 0V. Quando não há nenhuma ligação com a porta significa que o computador interpreta esses pinos como "1", agindo como se tivesse uma impressora ligada. Para acabar com esses problemas esses pinos foram invertidos.

Para accionarmos um motor de passo precisamos de um *hardware* específico usando transístores de potência como o ULN2003 ou o ULN2803 (representados nas figuras 4.7 e 4.8), que basicamente são *arrays de transistores Darlington* que podem controlar correntes até 500mA, estando em forma de circuito integrado prontos para ser usados em interfaces que necessitem controlar um motor passo a passo. O ULN 2803 tem 8 entradas que podem controlar até 8 saídas. Com ele poderemos controlar até 2 motores de passo simultaneamente que é o que se pretende.



Como as correntes de fraca intensidade ($I_{\max}=25 \text{ mA}$), disponíveis nas portas paralelas de um computador, são utilizadas para controlar os dois motores passo a passo (que não poderiam ser ligados directamente), terá de se aplicar o seguinte circuito para controlar os motores:

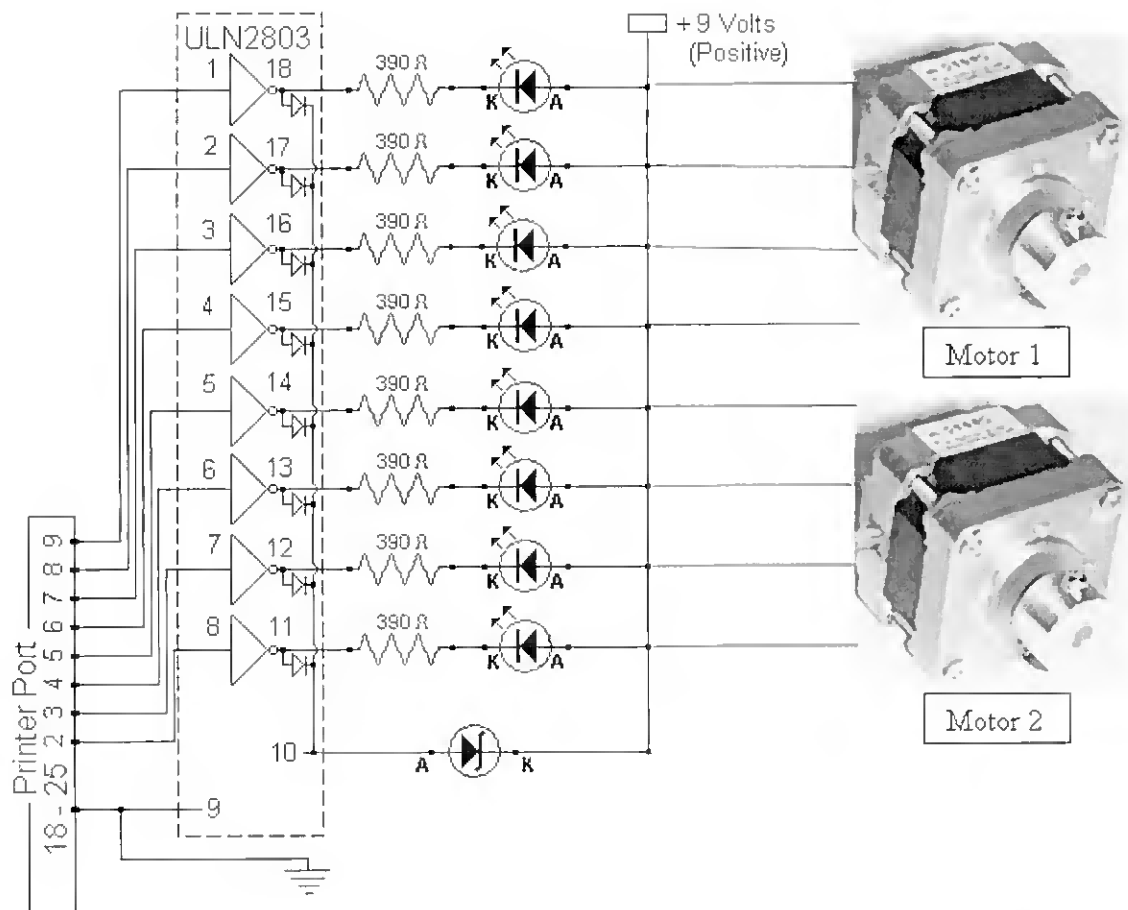


Figura 4.9: esquema de ligação dos dois motores

A introdução dos LEDs neste circuito servirá para visualizar as acções que os motores estão a efectuar, uma vez que os LEDs acenderão ou apagarão conforme os estados dos bits. Os motores 1 e 2 representados na figura 4.9 farão movimentar o animal posicionado na mesa xy representada na figura 4.10.

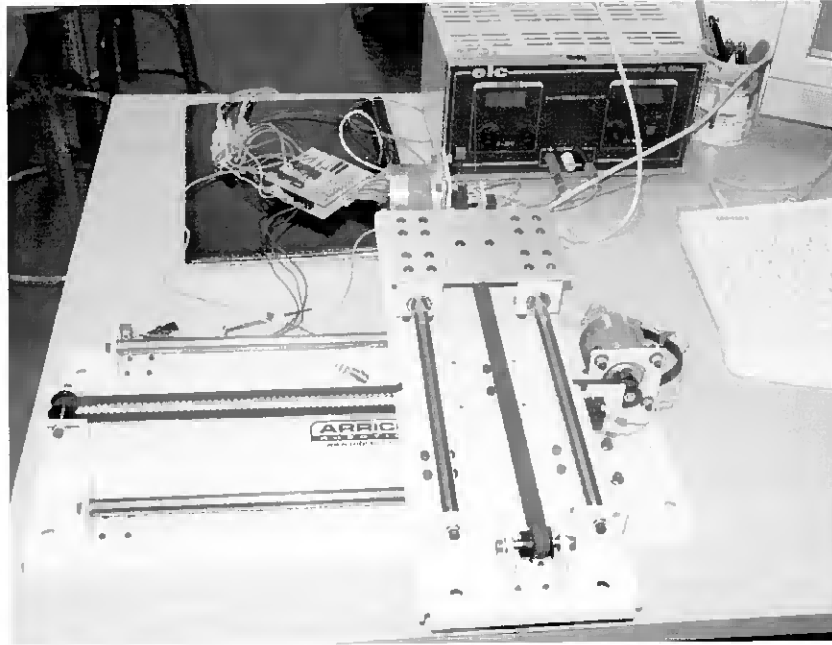


Figura 4.10: mesa xy

O programa escolhido para controlar a mesa xy no âmbito do projecto foi o LabVIEW 6i versão base, da empresa National Instruments. A razão dessa escolha é que este programa permite uma interface simples e intuitiva com qualquer hardware, proporcionando assistência interactiva na resolução dos mais variados problemas que vão surgindo. É portanto um software que apresenta uma enorme flexibilidade na linguagem de programação gráfica sem a complexidade de outras ferramentas de programação tradicionais.

O instrumento virtual desenvolvido para o controlo do sistema e representado na figura 4.11, permite dois modos de funcionamento: manual e automático.

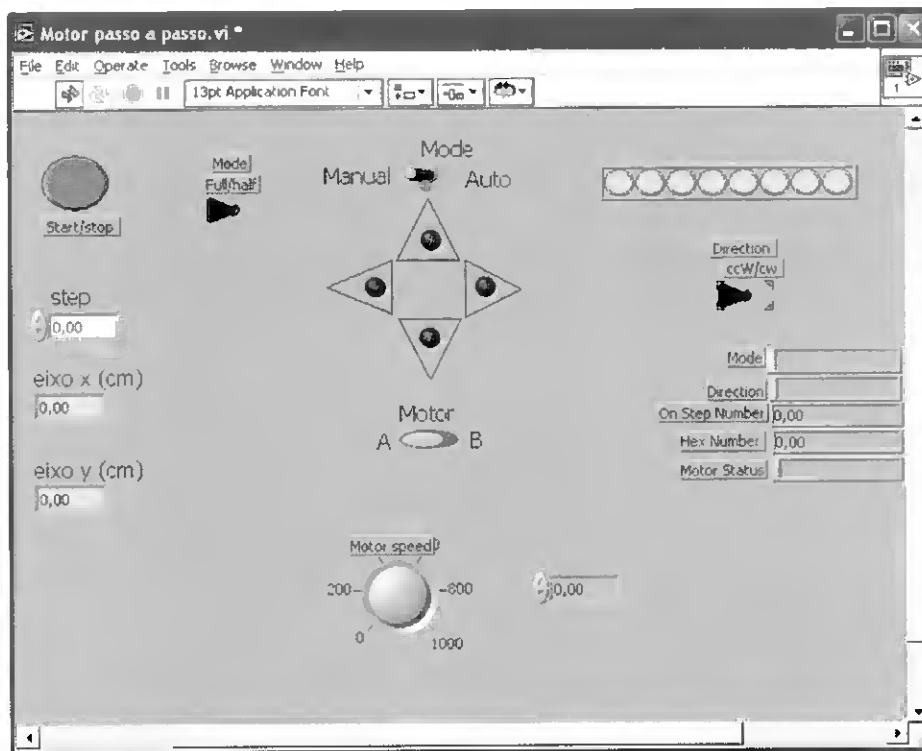


Figura 4.11: painel de controlo da mesa xy

Além do modo manual também é permitido o modo automático bastando introduzir as coordenadas pretendidas para que os motores se posicionem, sendo também possível controlar a velocidade destes. Os LEDs representados acendem ou apagam da mesma forma que os do circuito, o que poderá ser útil para fazer simulações e testes no sistema sem necessitar de ter os motores em funcionamento.

Como já referido o movimento do rotor deve-se à polarização sequencial das bobinas do motor. Sendo assim, polarizando-as de forma adequada, podemos movimentar o rotor somente entre as bobinas (passo inteiro), ou também entre as bobinas e alinhadas com as mesmas (meio passo).

4.4. Benefícios da participação no projecto ISPA

A participação no projecto de desenvolvimento de uma câmara SPECT com nova tecnologia de detecção e aquisição teve mérito em termos científicos e pedagógicos para o Mestrando com reflexos no melhoramento de competências na actividade docente.

É fundamental que os professores do ensino básico e secundário tenham a possibilidade de participar em projectos científicos não só para actualização de determinados tópicos de física mas também porque estes contribuem para estimular o professor para a docência, justificando plenamente o esforço dispendido.

No caso da nossa participação no projecto “Detectores de alta resolução para raios gama” permitiu uma enorme evolução no uso de algumas aplicações informáticas que poderão ser utilizadas ao serviço do ensino, nomeadamente nas animações realizadas no programa Macromedia Flash MX, na página HTML ou até no uso do software LabView para o controlo de uma mesa xy. Qualquer uma destas aplicações informáticas poderão ser utilizadas em contexto de sala de aula por qualquer professor na leccionação dos mais diversos conteúdos ou até na participação em projectos escolares. Por outro lado o contacto com um caso prático de aplicação da física das partículas na medicina, em particular no campo das radiações ionizantes e novos detectores, motivou a investigação e permitiu um acesso privilegiado a informação e esclarecimentos quando necessários pois o ambiente de colaboração nos centros de investigação (como no caso particular do LIP/Pólo Algarve) é salutar. A participação dos docentes neste tipo de projectos permite ainda tomar conhecimento e ter alguma vantagem no acesso a bolsas de estudo como foi no caso pessoal a participação no programa HST 2004 (High School Teachers 2004) no CERN, de 4 a 24 de Julho de 2004. Esse estágio intensivo permitiu uma aprendizagem e contacto com alguns dos melhores grupos de trabalho internacionais existentes na área

da física das partículas, com benefícios óbvios em termos de melhoramento de competências científicas e pedagógicas. No estágio, as sessões além de terem uma forte componente científica em física das radiações, tiveram uma grande componente experimental, com visitas às principais experiências em curso no CERN. Além disso, é de realçar o trabalho dos *working groups*, cujo principal objectivo é desenvolver material de trabalho a utilizar pelos professores de física de todo o mundo que visitem o site (<http://teachers.web.cern.ch/teachers/materials>). O nosso contributo pessoal foi e continua a ser, uma vez que os *working groups* têm como objectivo uma participação e contactos permanente de todos os professores envolvidos na elaboração de material didáctico, ao nível de animações *flash* na explicação da técnica PET.

No caso pessoal da colaboração nos *working groups* pretende-se construir animações para outros temas relacionados com a Física Médica, como por exemplo o funcionamento dos aceleradores hospitalares de partículas. Todos os materiais produzidos posteriormente serão colocados, após aprovação, na página do CERN, juntando-se a todos os outros já publicados no mesmo site e que foram concluídos naquele período de tempo relativo ao programa HST2004 (<http://teachers.web.cern.ch/teachers/hst/2004/work.htm>).

III - Contributo Pedagógico

1. A Física Médica como uma forma de conhecer tópicos de Física Contemporânea

A teoria quântica revolucionou o conhecimento científico do século XX, estando presente na concepção de grande parte da tecnologia existente, sendo portanto recomendável a introdução de alguns conteúdos de física quântica nos currículos. Apesar da dificuldade que alguns conteúdos poderão significar para alunos de níveis de escolaridade do básico, a inserção de abordagens motivadoras poderá ser a solução para a introdução de conceitos chave da área da física contemporânea. É importante referir que qualquer professor de Ciência Físico-Químicas pode constatar o desinteresse e a passividade de grande parte dos alunos perante temas que são mais clássicos e menos actuais, não contemplados quer nos média quer nos filmes, séries televisivas ou livros de ficção científica. Apesar da Mecânica Clássica ser importante para desenvolver capacidades de raciocínio lógico conota os currículos como antigos, sendo portanto importante introduzir alguns tópicos de física contemporânea, associado a temas aliciantes, para tornar o ensino mais motivador para os alunos (Lobato, 2003). Pensamos que seguindo este raciocínio o tema “Física Médica” será uma opção a ter em conta pois a sua importância, actualidade e constante referência a nível dos média será extremamente motivante para os alunos. Por outro lado este tema permite diferentes tipos de abordagens conforme o nível de escolaridade dos alunos. Assim as aplicações da física na medicina poderão ser estudadas no ensino básico a um nível mais geral e de descrição das aplicações, deixando para os cursos do secundário os conceitos mais teóricos.

2. O conhecimento dos alunos sobre radiações ionizantes

Este é um tema já amplamente abordado em três estudos realizados em Portugal com uma diferença de aproximadamente dez anos entre o primeiro e os dois seguintes. Será relevante analisar em termos de evolução dos resultados obtidos.

Em 1994, Júlia Jorge, na sua tese de mestrado intitulada *Radiações Ionizantes (Uma contribuição para o ensino das Ciências Físico-Químicas, no âmbito dos novos programas para o 3º ciclo do Ensino Básico)*, procedeu à identificação de conceitos gerais, bem como de conceitos alternativos no campo das radiações ionizantes, existentes nos alunos do ensino básico e secundário. Neste estudo foi também analisada a questão de saber até que ponto as ideias dos alunos, relativamente a alguns conceitos e fenómenos básicos relacionados com Radiações Ionizantes, algumas delas veiculadas pelos média (foi feita uma análise a artigos de jornais daquela altura e relacionados com o tema), serão partilhadas pelos próprios técnicos de radiologia e radioterapia. Esse trabalho examina as citações da comunicação social em acontecimentos que envolvam radiações para que mais facilmente se possa identificar os pré-conceitos que um aluno “leitor” das mesmas poderá adquirir.

As limitações do estudo de Júlia Jorge devem-se principalmente ao facto de ter sido realizado em apenas quatro escolas, num total de 333 alunos. É uma investigação que, apesar de fazer um tratamento estatístico elementar, pretende fornecer informações extremamente úteis para a leccionação do tema da física das radiações, tendo em atenção as dificuldades demonstradas pelos alunos. Em relação aos testes aplicados a técnicos de radiologia e radioterapia, apenas 12 dos inquiridos responderam, pelo que estatisticamente as conclusões daí retiradas não têm valor estatístico, servindo apenas

como mera indicação de que, naquela data, os conhecimentos científicos dos técnicos poderiam não ser os indicados para as funções que desempenhavam. Consequentemente, a autora refere as suas reservas em relação aos dados apresentados e a necessidade de realizar estudos a um nível mais alargado da população.

Das conclusões obtidas por este estudo poderão ser salientadas as seguintes:

- A abordagem dos média em relação ao tema Radiações Ionizantes é geralmente depreciativa e com bastantes erros científicos. Como exemplo claro das lacunas em termos científicos, e podendo até causar alarmismo desnecessário, podemos referir o título “Radiações ‘à solta’ num hospital de Saragoça” do jornal O Público, datada de 27/1/1993.
- É frequente encontrar tanto nas notícias de jornais como nas respostas dos alunos termos como “radiação” e “radioactividade” com o mesmo significado de “material radioactivo”. É também habitual existir uma confusão entre os termos “processos de irradiação” e “contaminação radioactiva” ou entre “radiação” e “radiação ionizante”.
- Os alunos têm noções incorrectas acerca da propagação e absorção da radiação. Pensam que a radiação é acumulada temporariamente no objecto irradiado.
- Em geral os riscos associados à radiação natural parecem ser entendidos como menores pelos alunos. Em contexto médico os raios X são considerados menos perigosos que a radiação proveniente de fontes radioactivas.
- Os alunos não sentem à partida necessidade de fazerem distinções entre os termos anteriormente referidos (radiação, radioactividade, material radioactivo, irradiação, absorção de radiação, contaminação radioactiva). É necessário que estes sintam a necessidade de aprender novos conceitos para explicar determinados factos em contextos diferentes.

- Foi detectado neste estudo uma grande diferença qualitativa em termos de conhecimentos científicos entre os técnicos de radiologia e de radioterapia, explicado pelo facto destes últimos possuírem uma maior formação na área. Os técnicos de radiologia chegam a usar um vocabulário pouco rigoroso cientificamente e com alguns conhecimentos incorrectos, muito próximo do domínio do conhecimento vulgar, também evidenciado na imprensa da altura. Apesar de os técnicos de radioterapia terem conhecimentos superiores aos dos alunos, há conceitos e ideias incorrectas em ambas as classes, que se identificam com a informação vinculada pelos média.
- Relativamente à opinião dos pacientes quanto a estes assuntos (admitindo que a opinião dos técnicos as traduzem correctamente), a maioria não possui conhecimentos para questionar o uso das técnicas em causa. Segundo os técnicos de radiologia a maioria revela algum receio e associam radiação a cancro. Relativamente aos utentes de radioterapia associam radiações ionizantes a queda de cabelo e queimaduras, ou a tornarem-se radioactivos. Alguns pacientes associam radiações a centrais nucleares e bombas atómicas, em parte devido à cobertura que os média fazem dos acidentes nucleares.

Da análise deste estudo fica a ideia da necessidade urgente de informar e educar correctamente o cidadão em geral sobre este tema que cada vez se torna mais importante. Para isso é necessário que qualquer pessoa tenha, na sua educação básica, um conjunto de noções que lhes permitam entender a importância, os benefícios que se retiram do uso das radiações nos nossos dias e também os malefícios a evitar.

Em 2002, Miquelina Mendes, na sua tese de mestrado intitulada Radiação e Ambiente no Ensino Básico, retomou o estudo de Júlia Jorge após a constatação que pouquíssimas

escolas escolhiam a unidade opcional de “Radiação e Ambiente” e quando o faziam os resultados eram desencorajadores. Foram investigadas as noções que os alunos do oitavo e nono anos tinham sobre este tema, com e sem ensino prévio deste tema. É de realçar que este estudo foi realizado apenas em três turmas. Em relação a este estudo, que tem como objectivo caracterizar as ideias dos alunos do 9º ano em relação às radiações ionizantes, por ser apenas realizado em três turmas de uma escola, de forma alguma se poderá generalizar a informação obtida através desses dados ao resto da população, apesar de poderem servir uma vez mais como indicação dos problemas existentes. Após a realização de um pré-teste foram definidas estratégias para duas dessas turmas em que se deu mais importância à preparação de experiências laboratoriais e utilização de textos seleccionados com uso do método de formular e colocar questões relacionados com o tema pelos alunos. Na outra turma foi usado o método tradicional com uso da exposição teórica e vários exercícios. As conclusões retiradas neste estudo foram as seguintes:

- Existe uma grande confusão por parte dos alunos em relação aos termos “radiação”, “radioactividade”, “material radioactivo”, “irradiação” e “contaminação”.
- Todas as radiações entendidas como perigosas eram consideradas ionizantes, como no caso das UV ou do Laser.
- O uso da exposição teórica e resolução de exercícios foi a forma em que se obteve piores resultados.

O ensino formal que era utilizado na leccionação deste tema não era a melhor forma de alterar os conceitos prévios que os alunos tinham. A melhor forma seria fazer sentir nos alunos a necessidade de conceitos diferentes para explicar determinados factos. Como motivação o recurso a textos que despertassem o interesse dos alunos e a outras

actividades como por exemplo as experimentais traduziam um maior progresso na aprendizagem.

Em 2004, Florbela Rego, na sua tese de mestrado intitulada *As Radiações no Ensino*, procedeu igualmente à identificação de conhecimentos, existentes nos alunos dos diferentes níveis de ensino (ensino básico e secundário), na área da Física das Radiações. A investigação de Florbela Rego foi alargada a 20 cidades, por todo o país, num total de 1246 alunos. É de realçar que 16,6% dos alunos eram do ensino superior. Os questionários foram também respondidos por 175 técnicos de radiologia e por 170 membros da população geral. Neste estudo, cujo principal objectivo era caracterizar o conhecimento que os alunos dos diferentes níveis de ensino possuem sobre o tema da física das radiações, a dimensão das amostras permitiu um aprofundamento estatístico, ao contrário dos anteriores trabalhos, sendo que os dados obtidos se poderão considerar mais representativos da situação actual.

É de notar que no ano de 1994 foi introduzido nos programas de Ciências Físico-Químicas o tema da radioactividade (sendo opcional), referindo-se o estudo de Júlia Jorge ao período anterior. Assim será interessante comparar se terá existido alguma evolução do conhecimento dos alunos em relação ao tema neste espaço de tempo (10 anos), após a sua introdução nos programas como opção. Neste estudo foi também analisada a difusão de alguns conceitos e fenómenos básicos relacionados com Radiações Ionizantes, veiculadas pelos média, foi feita igualmente uma análise a artigos de jornais relacionados com o tema. Tal como no estudo de 1994, neste foi feito também uma análise, aos conhecimentos da população em geral e a profissionais de saúde que será de enorme importância comparar em termos de evolução. O estudo foi

feito através de inquéritos, mas usando análises estatísticas mais sofisticadas que os estudos anteriores assim como amostras maiores.

Das conclusões obtidas por este estudo poderão ser salientadas as seguintes:

- Da análise dos média poderá concluir-se que as notícias que chegam à população continuam a ser pouco explícitas, alarmistas e com alguns erros científicos (apesar de se encontrarem em menor número em relação ao estudo de 1994). As radiações são sempre apresentadas como algo negativo, em todos os aspectos, para a vida humana. São igualmente confundidos alguns termos como “radiações, radiações ionizantes, propagação de radiação”. Não se salienta a importância das radiações ao nível da medicina e indústria por exemplo. Neste campo, rigor na informação vinculada pelos média, não existiu portanto uma evolução significativa em relação a 1994.
- A grande parte da população (incluindo os alunos) não consegue distinguir radiações de radiações ionizantes apesar de já terem ouvido falar, desconhecendo igualmente a existência do gás radão. Do estudo concluí-se que mais de metade da população nunca ouviu falar da radiação cósmica ou da radiação gama estando familiarizados com o termo radioactividade natural. Em geral a população entende que diferentes tipos de radiação provocam diferentes efeitos no organismo humano e que a radiação utilizada numa radiografia é diferente de um exame de ressonância magnética.
- Do estudo conclui-se que quanto maior for o nível de escolaridade dos inquiridos maior é a frequência de respostas correctas a questões sobre o tema radiações. Concluí-se igualmente que não existe grande diferença entre os conhecimentos da população em geral e os alunos em particular, existindo até em alguns aspectos um conhecimento superior da população em geral em

relação aos alunos, o que pode dizer algo em relação à escolha do tema opcional Radioactividade pelos docentes para ser leccionado nas escolas portuguesas.

- Da análise feita aos conhecimentos dos técnicos de saúde que trabalham com radiações nos hospitais, concluí-se que a sua formação na área da Física das Radiações não é suficiente e que têm grandes lacunas a nível de conhecimentos aprofundados sobre o tema, o que é deveras preocupante uma vez que grande parte não está preparada para esclarecer os seus pacientes se necessário. É de realçar que ainda existe um grande número de técnicos de radiologia que possuem uma escolaridade igual ou inferior ao 12º ano, o que diz bastante da formação que terão nesta área. Seria portanto bastante importante que estes profissionais recebessem uma formação mais aprofundada nesta área, o que é defendido igualmente pelos próprios técnicos inquiridos.
- Verificou-se que os conhecimentos dos alunos cujos pais tinham mais estudos (mais informados portanto) deram frequentemente as respostas correctas. Será portanto importante que os temas leccionados nas escolas motivem os encarregados de educação para a discussão dos mesmos em suas casas. Será um importante instrumento de motivação.
- Este estudo também verificou que após a realização de experiências simples por parte de alguns alunos com a respectiva explicação teórica, os conceitos eram facilmente adquiridos.

Pretendendo-se fazer uma comparação entre estudos surge de imediato uma primeira dificuldade que consiste no facto de as perguntas não serem coincidentes e de pequenas alterações de redacção poderem ter influenciado os resultados obtidos. Contudo, a maior parte dos resultados revelam que o domínio das radiações ionizantes não está mais

consolidado na actualidade. Os principais dados estatísticos retirados de ambos os estudos estão descritos de seguida:

Resultados estatísticos retirados do trabalho de Júlia Jorge:

Concluiu-se que, na perspectiva dos alunos, a radiação proveniente de fontes radioactivas (81%) e dos raios X (55%) poderão causar cancro. Apenas uma pequena parte dos alunos considera que os raios X (15%) e a radiação proveniente de fontes radioactivas (13%) poderão curar e causar cancro. Quando questionados acerca do significado de contaminação radioactiva, apenas 32% responde que se trata de contaminação com substâncias radioactivas, enquanto que 74% pensa que se deve ao facto de se estar em contacto com radiação. Quando questionados acerca de que tipo de radiação é ionizante, 59% dos alunos acha que toda a radiação nuclear é ionizante. Confrontados com a afirmação “O meio ambiente contém substâncias radioactivas naturais”, 75% dos alunos consideram-na correcta. A ideia de que “Toda a radiação, ionizante ou não, é igualmente perigosa para os seres humanos” está presente em 48% dos casos. Relativamente a técnicas médicas que envolvem radiações ionizantes, 60% dos alunos identificaram as radiografias e os diagnósticos com isótopos radioactivos, enquanto que 18% dos alunos escolheram as ecografias e electrocardiogramas.

Relativamente às fontes naturais e artificiais de radiação ionizante, 70% dos alunos consideraram ambas igualmente perigosas. Relativamente aos efeitos da radiação no homem, 51% conhece os efeitos genéticos, enquanto que 24% pensa serem apenas somáticos. Quando questionados acerca do significado de período de semi-desintegração, 36% dos alunos afirma desconhecer, enquanto que os outros se dividem pelas respostas “tempo pelo qual a substância é perigosa” e “tempo ao fim do qual se reduz a metade do seu valor inicial a radiação emitida pela substância radioactiva”.

Resultados estatísticos retirados do trabalho de Florbela Rego:

Concluiu-se que a maior parte dos alunos (94,4%) afirma que reconhece a existência de radiações apesar de 85,5% destes não distinguir entre radiações ionizantes e não ionizantes. Das radiações que os alunos conhecem apenas 33,9% dos alunos afirmou reconhecer a radiação visível, enquanto que em relação à radiação X e à ultravioleta foram 95,5% e 87,2% respectivamente. É de realçar que os alunos apresentam enormes dificuldades em identificar a natureza electromagnética das radiações, uma vez que 87,2% afirma conhecer a radiação ultravioleta mas apenas 57,5% afirma conhecer a radiação electromagnética.

Concluiu-se também que apenas 57,4% dos alunos conhece a radioactividade natural e que, apesar de o sol ser a fonte mais reconhecida (32,2%), poucos reconhecem a radiação proveniente dos raios cósmicos, dos alimentos, dos solos ou até do gás Radão. Apesar de os alunos não distinguirem os diversos tipos de radiação a maior parte destes (94,1%) afirma que não provocam os mesmos efeitos no organismo humano. Neste estudo foi ainda incluída uma variável interessante: o nível de escolaridade dos pais dos alunos. Verificou-se que, apesar de os alunos com pais com mais escolaridade obterem resultados um pouco mais elevados, a diferença foi muito baixa e que talvez se deva à informação difundida nos órgãos de comunicação social.

Neste estudo foi ainda avaliado o sucesso nas aprendizagens de uma visita de estudo de 104 alunos do Ensino Secundário ao laboratório de Física das Radiações da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Foi realizado um teste aos alunos antes da visita e outro depois da visita. Verificou-se que existiu um aumento significativo do conhecimento dos alunos, uma vez que, por exemplo, antes da visita apenas 13,5% dos alunos conseguia distinguir radiação ionizante de não ionizante e depois da visita esse número aumentou para 79,8%.

Em termos de evolução temporal, apesar das dificuldades de comparação dos dois estudos pelas razões anteriormente descritas, poderá realçar-se que se notou uma evolução ao nível do conhecimento de que as diferentes radiações provocam diferentes efeitos no corpo humano. Relativamente aos outros tópicos os resultados revelam que ainda muito há por fazer, uma vez que as lacunas que os alunos revelam ao nível da física das radiações, são, como se pode verificar pelos resultados, imensas.

Da análise comparativa dos estudos referenciados é óbvio que é fundamental informar correctamente as pessoas sobre os benefícios e os riscos inerentes ao uso das radiações para que estas possam decidir-se pelo consentimento ou não da aplicação, por exemplo, desta técnica no tratamento das suas patologias. Certamente que as populações com maior literacia científica nestas áreas estarão mais preparadas para a decisão, consistindo esta numa outra razão para a importância de se introduzir este tema (Física das Radiações) na escolaridade obrigatória.

Como abordagem ao tópico será importante recorrer a contextos diferentes. A Física Médica é um tema que pela sua importância poderá ser um veículo importante de abordagem ao tema Física das Radiações a um nível de escolaridade obrigatória em que as competências que se pretende dos alunos são de forma geral na direcção de demonstrar a importância da Ciência na sociedade. Será um tema que interessará aos encarregados de educação pois é frequente algum familiar próximo ter recorrido a estas técnicas num hospital. Motivando os encarregados de educação através dos seus educandos para o tema, estes motivarão os seus educandos para descobrirem ainda mais e assim se poderá obter um maior sucesso nas aprendizagens. É também importante que os alunos se apercebam que algumas ideias que terão ouvido (até em contexto familiar)

poderão não estar correctas e neste tema (Física das Radiações) terão a prova de que para formular uma opinião correcta sobre um determinado tema científico se terá de conhecer com alguma profundidade a matéria em causa.

Da análise das notícias vinculadas pelos média, que ilustram bastante bem a forma como o assunto é tratado, é claro que a forma de abordagem ao tema Radiações Ionizantes terá de ter em atenção os pré-conceitos existentes.

Nas propostas Pedagógicas produzidas nesta dissertação será levado em atenção esse facto e levar-se-á em atenção os aspectos positivos e os benefícios para a humanidade da utilização das radiações.

3. Análise das Orientações Curriculares para o 3º ciclo do ensino básico e secundário (no âmbito deste tema)

A filosofia das novas Orientações Curriculares para o ensino básico propõem uma abordagem de forma mais globalizante e interdisciplinar dos temas. Esta filosofia será a mais correcta se pensarmos que com a mudança tecnológica acelerada e a globalização do mercado, vai ser cada vez mais necessário formar indivíduos com educação geral em várias áreas, capacidades de comunicação, flexibilidade em termos de adaptação a novas funções e com a capacidade de aprender ao longo da vida. Estas competências não se coadunam com um ensino científico compartimentado em conteúdos desligados da realidade e, por vezes, sem uma ligação directa às necessidades do quotidiano. Além disso, a sociedade necessita de cidadãos com uma preparação científica a nível de ensino básico globalizante que lhes permita seguir um debate científico com interesse ou tomar posições em questões que a Ciência ou a Tecnologia colocam.

De acordo com estas orientações será sempre importante evidenciar a interdisciplinaridade dos temas com outras ciências nomeadamente com as Ciências Naturais no momento em que se introduzir, por exemplo, a radiação ambiental, com a Biologia quando se inserir, por exemplo, o tema das doses de radiação absorvidas pelo corpo humano, com as Tecnologias da Informação e da Comunicação (TIC) quando se explorar o papel dos computadores na imagiologia médica.

O elegermos as radiações ionizantes/física médica como tópico de ensino não quer dizer que os actuais programas privilegiam este domínio do conhecimento. A consulta nas novas Orientações Curriculares para o ensino básico e os novos programas para o 10º e 11º anos de escolaridade revelou uma única referência relativamente ao tema “Radiações Ionizantes”, que ocorre no ensino básico é a seguinte:

Reorganização Curricular do Ensino Básico, Competências Essenciais e Orientações Curriculares: Planeta Terra – Ciência e Tecnologia e Qualidade de Vida

Nível: 3ºCiclo, página 35, que passo a citar:

Este tema é transversal e foi sendo abordado ao longo do ciclo em diferentes situações. Pode retomar-se, aprofundando aspectos específicos, essenciais para a compreensão e tomada de decisões face a assuntos que preocupam as sociedades, debatendo factores ambientais, económicos e sociais.

Sugere-se a realização de projectos a desenvolver em colaboração com a Área Projecto, centrados em temas como: (i) fabrico e utilização de produtos (fármacos, protectores solares, fertilizantes, pesticidas, detergentes, sabões, cosméticos e alimentos transgénicos, (ii) exposição a radiações, (iii) agricultura tradicional versus biológica, (iv) transporte de produtos químicos e (v) incremento de redes rodoviárias ou ferroviárias. Os trabalhos devem evidenciar a avaliação dos riscos e benefícios envolvidos.

É de realçar que nos novos programas para o 12º ano de Física, ainda em discussão, a entrar em vigor no próximo ano lectivo, a Física Contemporânea e com particular destaque as radiações ionizantes é contemplada com bastante destaque na 3ª unidade (o programa é composto por três unidades), estando previsto uma média de 15 blocos lectivos para a sua leccionação.

Ministério da Educação – Departamento de ensino secundário:

“Projecto de programa da disciplina de física – 12ºano

III . FÍSICA MODERNA (15 aulas)

1. Teoria da Relatividade (total 6 aulas)

1.1 - Relatividade galileana (2 aulas)

- Referenciais de inércia e referenciais acelerados; Validade das leis de Newton, Transformação de Galileu; Invariância e relatividade de uma grandeza física; Invariância das leis da mecânica: Princípio da Relatividade de Galileu; Física em acção.

1.2 - Relatividade einsteiniana (4 aulas)

- Origens da relatividade restrita; Postulados da relatividade restrita; Simultaneidade de acontecimentos, dilatação do tempo e contracção do espaço; Relação entre massa e energia; Origens da relatividade geral; Princípio da Equivalência; Física em acção

2. Física quântica: interacção da radiação com a matéria (total 4 aulas)

- A quantização da energia de Planck
- A teoria dos fótons de Einstein
- Dualidade onda-corpúsculo para a luz
- Radiação ionizante e não ionizante
- Interação da radiação com a matéria: efeito fotoeléctrico, efeito de Compton, produção e aniquilação de pares

- Raios X
- Dualidade onda-corpúsculo para a matéria. Relação de De Broglie
- Física em acção

3. Núcleos atómicos e radioactividade (total 5 aulas)

- Energia de ligação nuclear e estabilidade dos núcleos
- Processos de estabilização dos núcleos: decaimento radioactivo
- Propriedades das emissões radioactivas (alfa, beta e gama)
- Lei do decaimento radioactivo
- Período de decaimento (tempo de meia vida)
- Actividade de uma amostra radioactiva
- Fontes naturais e artificiais de radioactividade
- Efeitos biológicos da radioactividade
- Dose de radiação absorvida
- Detectores de radiação ionizante
- Aplicações da radiação ionizante
- Reacções nucleares: fusão nuclear e cisão nuclear
- Física em acção”

Tanto as Orientações Curriculares para o 3º ciclo do ensino básico como os novos programas para o ensino secundário denotam uma tendência para introduzir alguns conceitos de física contemporânea. Coloca-se ainda a questão de alguns conteúdos serem leccionados na componente da química em vez da componente da física (espectro electromagnético e efeito fotoeléctrico, por exemplo), aspecto em que a reforma dos currículos talvez devesse ter ido mais além. O facto de apenas se tratar com o devido destaque o tema da física das radiações na física do 12º ano restringe a aprendizagem

deste tema a uma pequena parte dos alunos, uma vez já que o número de alunos que escolhe esta disciplina no 12º ano é actualmente reduzido.

Ainda no âmbito dos tópicos contemporâneos, a introdução de temas novos como a utilização do GPS ou de sensores implica uma formação contínua dos professores nestas áreas, uma vez que os seus cursos profissionais poderão, em grande parte dos casos, não os ter abordado.

4. Descrição e análise do Currículo Inglês e Espanhol sobre o ensino das interações das radiações com a matéria.

A razão para a escolha destes dois países para análise deve-se ao facto de serem, dos países de referência da comunidade europeia, os que mais ligações têm com Portugal. A Espanha devido à vizinhança e o Reino Unido por ser considerado por nós uma referência. Será portanto interessante comparar a forma como se aborda os temas relativos à Física das radiações.

Reino Unido (<http://www.aqa.org.uk/qual/pdf/aqa-5451-6451-w-sp-05.pdf>)

O General Certificate of Secondary Education (GCSE), correspondente ao ensino básico português, apresenta a física como a forma de explicar fenómenos. Os temas são apresentados em forma de pergunta e os conceitos físicos servirão para explicá-los. Os conteúdos estão organizados em 12 Módulos em que o último é dedicado às ondas e radiações.

Módulo 12:

- 1- Porque razão os cientistas descrevem o som e a luz como ondas?
- 2- Será que existe radiação que não podemos ver?
- 3- O que sabemos acerca da radiação proveniente de substâncias radioactivas?
- 4- O que acontece às substâncias radioactivas quando decaem ou são usadas em reactores nucleares?
- 5- O que são ultra sons e como poderão ser utilizados?
- 6- O que as ondas provenientes dos terremotos nos poderão dizer acerca do Planeta?

Os cursos apresentados seguidamente correspondem ao ensino secundário português.

O Advance Subsidiary course (AS), apresenta aos alunos a Física como uma compreensão de processos, guiada pela curiosidade e induzindo novas maneiras de pensar. Os conteúdos estão organizados da seguinte forma:

Módulo 1: Partículas, radiação electromagnética e fenómenos quânticos.

Módulo 2: Mecânica e teoria cinético-molecular.

Módulo 3: Electricidade e propriedades elásticas dos sólidos.

No Advance Level course (A2), apresenta-se aos alunos a forma como a Física modifica as nossas vidas. A Física é sempre apresentada na sua vertente de grande importância social com variados exemplos da sua aplicação prática.

Módulo 4: Ondas e oscilações; Capacitância; Campo gravitacional e eléctrico; Efeito magnético das correntes eléctricas; Aplicações nucleares.

Módulo 5: Instabilidade nuclear.

Módulo 5 (componente opcional): Lentes e telescópios ópticos, rádio-astronomia, classificação das estrelas e cosmologia.

Módulo 6 (componente opcional): Física do olho e do ouvido e imagiologia.

Módulo 7 (componente opcional): Dinâmica rotacional, motores e termodinâmica.

Módulo 8 (componente opcional): A descoberta do electrão, dualidade onda partícula e relatividade restrita.

Módulo 9 (componente opcional): Princípios básicos de electricidade, condensadores e outros componentes electrónicos.

Espanha (<http://www.juntadeandalucia.es/averroes/publicaciones/55341/libbac12.pdf>)

Espanha tem um currículo que em termos de abordagem aos temas da Física das Radiações é semelhante ao caso português. Apenas no último ano do ensino secundário (2º do curso bachillerato) o tema é abordado mas ao contrário do Reino Unido sem qualquer aplicação médica/terapêutica desses mesmos conteúdos. É de salientar que em Espanha cada província pode adaptar o seu currículo, seguindo uma linha orientadora.

2º Bachillerato

Bloco Temático 1: A imagem mecânica da natureza.

Tema 1: Interações gravíticas.

Tema 2: Interações eléctricas e magnéticas.

Tema 3: Óptica geométrica.

Tema 4: Ondas elásticas.

Tema 5: Natureza da luz.

Bloco Temático 2: As interações electromagnéticas – Abordagem da Física Clássica

Tema 6: Interações electromagnéticas.

Bloco Temático 3: A crise da Física Clássica e o nascimento da Física Moderna.

Tema 7: Introdução à mecânica relativista.

Tema 8: Introdução ao estudo do núcleo.

Tema 9: Introdução à Física Quântica.

Será portanto no Bloco Temático 3 que haverá alguma margem para abordar alguns temas da Física das Radiações.

Da análise destes dois currículos é óbvio que o do Reino Unido é bastante mais moderno, pois coloca todo o ênfase nos temas ligados à Física Contemporânea. O currículo de Espanha é bastante parecido com o português na abordagem aos temas da Física Contemporânea. O mais preocupante é lembrar que o currículo português acabou de ser reformulado o que leva a admitir que as mudanças necessárias não poderão ser realizadas a curto prazo.

5. Proposta de planeamento do ensino do tema “Radiações Ionizantes”

Para que os alunos construam os seus próprios conhecimentos, necessitam de uma associação entre os novos conceitos e a informação que já possuem. Os conceitos que não tenham ligações múltiplas com o modo como o estudante concebe o mundo são facilmente esquecíveis. Assim a melhor forma de aprendizagem de conceitos será encontrá-los numa multiplicidade de contextos e vê-los expressos sob as mais variadas formas, para que aumente a probabilidade de “actuar” no sistema cognitivo do aluno.

Será por vezes igualmente necessário modificar a forma de pensar dos alunos, ou pôr de lado algumas convicções de longa data sobre a natureza. Essas ideias prévias que os alunos têm, dificultam a aprendizagem, logo será importante que essas intuições não sejam ignoradas mas sim corrigidas quando seja necessário. Os alunos têm de ser encorajados a desenvolver visões novas e a reconhecer que essas visões os ajudam a compreender melhor o mundo.

Uma forma de melhorar o processo de ensino aprendizagem consistirá no uso de actividades experimentais (ver Florbela Rego (2004), Miquelina Mendes (2002) e Júlia Jorge (1994)), pois tal fará com que os alunos desenvolvam a capacidade de compreender conceitos abstractos, de manipular símbolos, de raciocinar logicamente e de generalizar. Essas actividades desenvolvidas terão de ser aplicáveis a situações concretas, porque só assim os alunos aplicarão esses conhecimentos e ideias no seu quotidiano. As actividades não poderão ser uma mera repetição de tarefas (manuais ou intelectuais) mas sim uma oportunidade de diversificar ideias e obter reacções (*feedback*) a elas.

É necessário que as tarefas apresentadas aos alunos sejam um desafio, mas que estejam ao seu alcance. O professor deve também assinalar a confiança que tem em que as

actividades serão realizadas com sucesso e caso não o consiga deve saber como superar os erros e em novas tentativas obter bons resultados. Dessa forma aumentará a autoconfiança dos alunos na realização de tarefas e conseqüentemente os sucessos na aprendizagem. Este mesmo principio foi seguido pelo autor deste trabalho ao integrar-se num trabalho concreto de pesquisa, embora que tendo contribuído para a resolução de um problema pontual (4.2, 4.3 e 4.4).

6. Abordagens alternativas no âmbito do tema Radiações Ionizantes

“O que se poderá fazer para que mais alunos se interessem e se esforcem por aprender?”. Esta é uma pergunta que está sempre presente na mente de qualquer professor ao planificar as suas aulas. A maioria dos alunos só estuda para os exames ou não trabalham o suficiente para acompanharem as aulas diariamente, logo torna-se fundamental mudar essa situação para melhorar o sucesso do processo ensino/aprendizagem. A forma como se poderá transmitir ao aluno que um determinado trabalho numa actividade lhe dará oportunidade para aprender, crescer, desfrutar da tarefa e incrementar as suas capacidades é fundamental numa sala de aula e está na base de uma boa relação entre o professor e o aluno.

Da literatura consultada foram identificados 3 modelos de aprendizagens que considerámos importantes referir. São eles o modelo da aprendizagem auto-regulada

(desenvolvida na próxima secção), o modelo da avaliação cognitiva e o modelo de Jonhson e Jonhson. O modelo da avaliação cognitiva em termos gerais assume que a motivação para a realização escolar é função quer de processos intrínsecos quer de processos extrínsecos. Assim, são analisados dois tipos de processos motivacionais relacionados com a aprendizagem escolar: a manutenção da motivação intrínseca em que o aluno sente-se recompensado por realizar uma tarefa de que gosta e o desenvolvimento da motivação extrínseca em que são fornecidos ao alunos recompensas pelos objectivos atingidos (Ryan, Connell & Deci, 1985). O Modelo de Johnson e Johnson resulta da análise dos autores das relações entre diferentes padrões de interacção em sala de aula e a motivação para a realização. Definiram três tipos de situação social: situação cooperativa, situação competitiva e situação individualizada. A distinção entre estes três tipos de situação é feita com base no tipo de interdependência entre os objectivos dos seus membros (Jonhson, 1985).

Da comparação dos três modelos pareceu-nos que o modelo da aprendizagem Auto-Regulada deveria ser alvo de um estudo mais detalhado, pois reúne algumas das melhores características dos outros dois modelos, podendo ser indicado na elaboração de materiais de apoio ao ensino do tema das radiações ionizantes. Um dos pressupostos fundamentais é que as actividades não sejam uma mera repetição de tarefas manuais ou intelectuais, mas sim uma oportunidade de diversificar ideias e formas de aprendizagens.

6.1. Modelo da Aprendizagem Auto-Regulada

A motivação intrínseca explica as condutas para as quais não há possibilidade de existir uma recompensa exterior. Na motivação intrínseca o sujeito move-se primordialmente pelo próprio gosto, de tal forma que um aluno, por exemplo, pode ler e estudar livros que lhe interessem, para além da matéria leccionada na aula. Não espera recompensas exteriores pelo que se sente compensado pelo próprio facto de realizar a tarefa que gosta.

O modelo da aprendizagem auto-regulada associa a dinâmica de uma aprendizagem “aprazível” criadora de motivação intrínseca. Corno e Rohrkemper (1985) analisaram a relação entre a aprendizagem e a motivação intrínseca, em sala de aula. O seu modelo estipula que o desejo de aprender é mantido pela facilidade de que a aprendizagem se revestir para o aluno. Definem motivação intrínseca para aprender como este desejo de aprender, que é suportado pela facilidade em aprender. A facilidade em aprender exige um conjunto de competências cognitivas, cujo desenvolvimento constitui assim a condição principal para que os alunos estejam intrinsecamente motivados para aprender. A aprendizagem auto-regulada é salientada como a dimensão-chave da motivação intrínseca e refere-se aos modos como os alunos processam a informação a outros conteúdos cognitivos, sendo definida como um esforço intencional por parte do aluno para aprofundar e manipular a rede associativa numa área de conteúdo particular e para monitorizar e melhorar esse processo de aprofundamento. Na aprendizagem em sala de aula estes processos reflectir-se-ão em comportamentos adequados à tarefa (tais como o foco visual, a posição do corpo e a escolha de actividades de tempo livre), em diferenças nos testes realizados (tais como padrões de erros e latência de resposta) e em

medidas directas de processamento cognitivo durante a instrução (tais como auto-relatos de cognições relacionadas com a tarefa ou protocolos de pensamento em voz alta).

A aprendizagem auto-regulada será a forma mais elevada de envolvimento cognitivo que o aluno pode usar para aprender na sala de aula. Nestas condições os alunos dão instruções a si próprios acerca das operações mentais apropriadas e executam de facto as actividades cognitivas adequadas à resolução de um problema ou ao processamento de informação. O envolvimento cognitivo é menos evidente (e a aprendizagem menos auto-regulada) quando os alunos contam com os outros ou com instruções pré-estabelecidas como fonte de informação acerca das informações mentais adequadas à abordagem e realização de uma tarefa como é o caso de trabalhos experimentais de grupo, seguindo um determinado protocolo.

A aprendizagem auto-regulada é necessária à aprendizagem em sala de aula porque nesta situação as tarefas são impostas (e não escolhidas), porque a situação de aula contém numerosas fontes potenciais de distração e porque os recursos disponíveis (incluindo o professor) são escassos dado em geral o grande número de alunos. Assim, a intenção de aprender tem de ser protegida e as competências de aprendizagem auto-regulada assumem essa função de protecção, mediando o desejo de aprender e os comportamentos que promovem a aprendizagem.

Por outro lado, as competências de aprendizagem auto-regulada não consistem apenas na utilização de recursos individuais internos do próprio sujeito, mas também na utilização dos recursos sociais (professor, colegas) da sala de aula para aprender. Ser auto-regulado significa pois ter estratégias para abordar e aprender a realizar as tarefas, o que aumentará a percepção de auto-eficácia e conseqüentemente a motivação para a realização. A aprendizagem auto-regulada constitui um instrumento através do qual os alunos podem melhorar a sua competência académica bem como derivar um forte

sentimento de responsabilidade pessoal. Uma das vantagens da utilização da aprendizagem auto-regulada reside na possibilidade que dá ao aluno de trabalhar independentemente e de desenvolver a capacidade de auto-aprendizagem, o que por sua vez cria oportunidades para experienciar as recompensas inerentes ao progresso na aprendizagem, valorizando-a como fim em si mesma. Dadas as características habituais das situações de ensino em sala de aula, nomeadamente no que se refere ao número de alunos por turma e à instrução dirigida ao grupo-classe no seu conjunto, o sucesso exige a adopção de estratégias que permitam conseguir atenção e ajuda nos pontos em que ela é necessária e que permitam ao aluno preencher ele próprio lacunas na instrução, ou seja, competências de aprendizagem auto-regulada. Por outro lado os alunos auto-regulados têm estratégias para abordar as tarefas complexas de sala de aula, o que influencia o seu desejo (vontade) de se envolverem nas tarefas. Mesmo os alunos de baixo rendimento, que tendem a evitar ou desistir das tarefas poderão aumentar as suas probabilidades de sucesso se desenvolverem competências de aprendizagem auto-regulada. Estas competências, fornecem-lhes um modo e o desejo de iniciar a tarefa, o que constitui o primeiro passo na cadeia do comportamento motivado.

Em síntese, este modelo de motivação intrínseca, para além de fornecer pistas de acção, concretizáveis em situações escolares, sugere objectivos orientadores da intervenção dirigida à motivação dos alunos, sublinhando a promoção da autonomia do aluno através do desenvolvimento de competências generalizáveis de aprendizagem em sala de aula, que permitam ao aluno controlar e regular o atingimento de objectivos próprios.

Com o objectivo de pôr em prática este modelo de motivação em que uma das vantagens da sua utilização reside na possibilidade que dá ao aluno de trabalhar

independentemente e de desenvolver a capacidade de auto-aprendizagem, o que por sua vez irá criar oportunidades para sentir as recompensas inerentes ao progresso na aprendizagem, valorizando-a como fim em si mesma foi desenvolvida para o ensino das radiações ionizantes e suas aplicações médicas uma aplicação informática em que o aluno terá como objectivo passar em testes colocados sob uma forma de jogo. Esses testes possibilitarão ao aluno autoavaliar o seu conhecimento, o que representa um dos princípios fundamentais desta teoria de aprendizagem.

Em síntese, as aplicações motivam o aluno (auto-motivação) e tornam a aprendizagem acessível, seguindo-se os testes que permitirão a auto-avaliação.

6.2. Um contributo para a aprendizagem Auto-Regulada em Física das Radiações

Tendo o tema sido retirado dos manuais escolares de Ciências Físico-Químicas e podendo apenas ser tratado em disciplinas de projecto, como referido no capítulo 3, considerámos importante construir materiais que permitam aos alunos recorrer a eles de forma autónoma, não dependendo frequentemente da ajuda do professor, o que aliás é essencial nas disciplinas de projecto. A página descrita nesta secção tem como objectivo servir de fio condutor na investigação preferencialmente independente por parte dos alunos do tema, fornecendo materiais e pistas para investigação.

Para conseguir realizar a aprendizagem auto-regulada neste caso terá de se entrar na “Home Page da Física das Radiações” e navegar pelo seu conteúdo. A metodologia de

suporte para a aprendizagem auto-regulada no domínio da física das radiações baseia-se nas Tecnologias da Informação. Foi construída uma aplicação informática na forma de página *html* com interactividade.

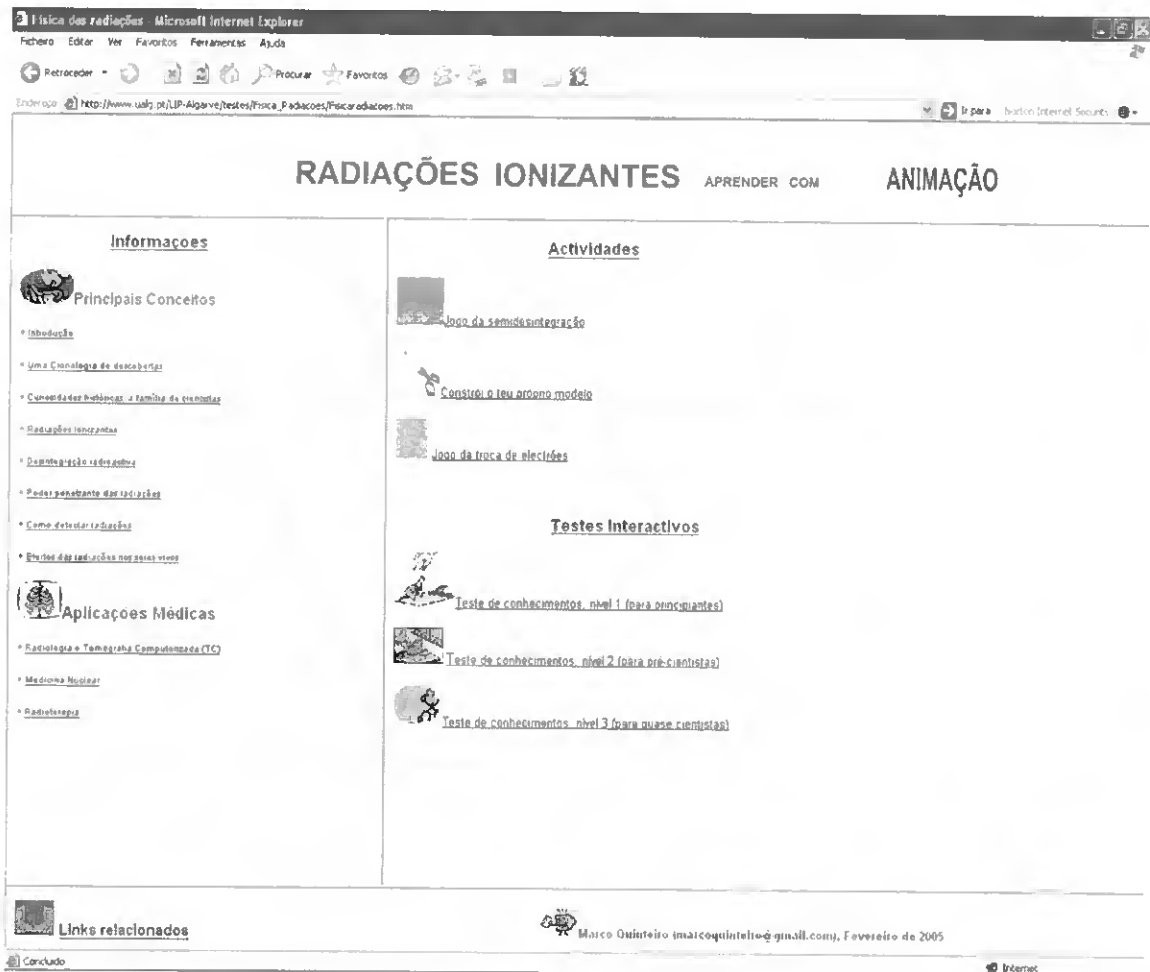


Figura 6.1: página *html* - homepage

A página contém algumas animações interactivas construídas recorrendo ao software *Macromedia Flash MX* que facilitarão o entendimento dos principais conceitos. É de realçar que a página pode ser facilmente actualizada ou modificada por qualquer docente que o pretenda, bastando para isso utilizar um software como o *Microsoft Front Page*.

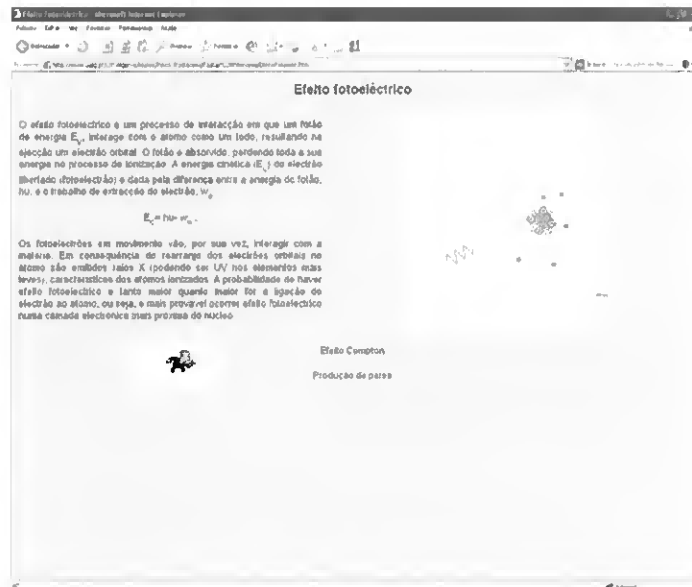


Figura 6.2: Página tipo das informações: Radiações ionizantes – efeito fotoelétrico

Durante esse estudo o aluno poderá divertir-se em jogos interactivos que apesar alguns deles não serem fundamentados em conceitos físicos apresentam o átomo ou radiações como elemento do jogo, criando uma familiarização do aluno com estes elementos da física das radiações. A página tem interacções educativas nos jogos e nos testes em que aluno reforçará alguns dos conceitos chave acerca da física das radiações.

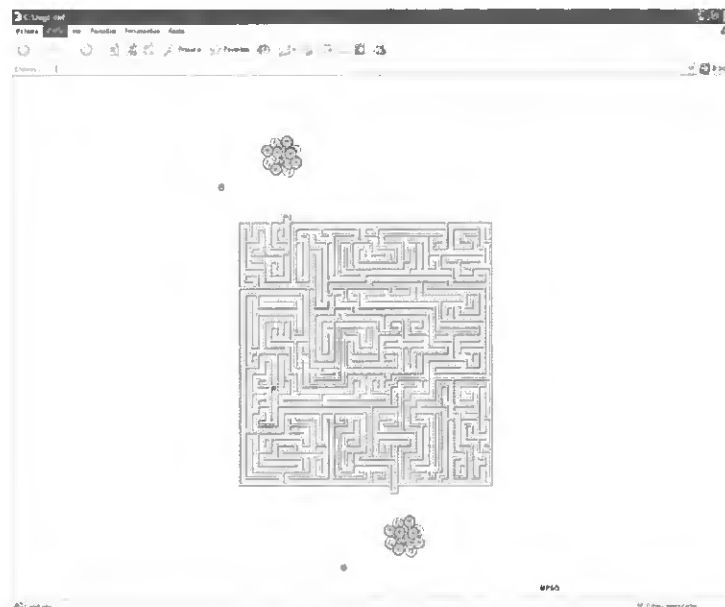


Figura 6.3: página html – jogo interactivo da troca de electrões



Figura 6.4: página html – jogo interactivo da desintegração radioactiva

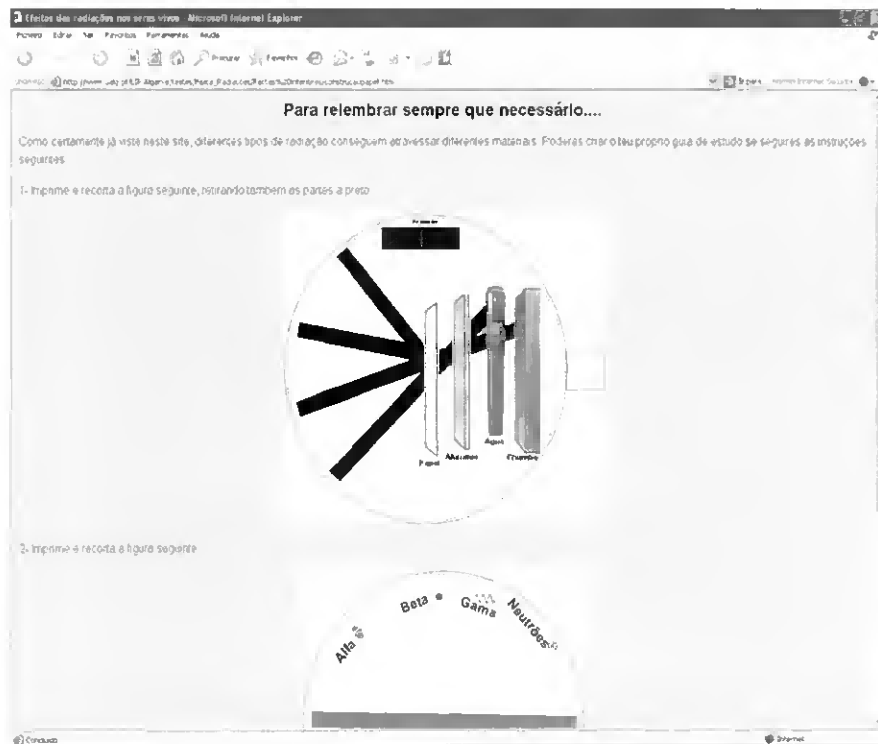


Figura 6.5: página html – actividade relacionada com o poder penetrante das radiações

Após o aluno se achar estar preparado as informações adquiridas e os conceitos assimilados serão indispensáveis para realizar alguns testes ordenados por nível de

dificuldade. O primeiro nível de dificuldade será denominado “nível de principiantes” que será facilmente ultrapassado.

Teste de Conhecimentos: nível 1 (principiantes)
Só depois de ultrapassar este obstáculo existirão esperanças!

Nome:
Número:

1. Qual das radiações electromagnéticas seguintes é ionizante?

microondas rádio X
 provenientes de um rádio laser

2. Em radioactividade, período de semidesintegração é o intervalo de tempo em que...

o a de núcleos de um elemento radioactivo desintegra-se totalmente um produto de uma reacção química se reduz a um quarto
 o a de núcleos de um elemento radioactivo reduz-se a metade um reagente de uma reacção química se reduz a metade

3. As radiações ionizantes produzem uma ionização no interior de um contador Geiger-Müller, gerando impulsos de corrente eléctrica, que são ...

ignorados isolados absorvidos contados

4. Da-se o nome de processos de desintegração radioactiva a ou β aos processos de transformação nuclear em que é alterada a proporção entre...

os prótons e os electrões os nêutrons e os electrões os prótons e os nêutrons electrões e nêutrons

5. Uma das vantagens da Tomografia Computadorizada (TC) em relação a radiologia é que...

permite obter imagens a das dimensões é mais segura
 é muito rápida é muito barata

nota: terá de limpar sempre que responder a teste

Figura 6.6: página html – teste conhecimentos nível 1

Teste de Conhecimentos: nível 2 (pré-cientistas)
Descubra se está preparado para um debate sobre radiações ionizantes!

Nome:
Número:

1. As radiações electromagnéticas poderão ser ionizantes ...

apenas se forem naturais apenas se forem artificiais
 quer sejam naturais ou artificiais provenientes de um rádio

2. A radioactividade pode ser ...

a responsável pelo aumento de CO₂ na atmosfera benéfica ou prejudicial
 benéfica mas nunca prejudicial prejudicial mas nunca benéfica

3. Se o período de semidesintegração do cálcio-45 é de 165 dias poderá dizer-se que ao fim de 165 dias o cálcio-45 ...

desintegrou-se completamente começa-se a desintegrar
 está reduzido a um quarto está reduzido a metade

4. A radiação beta consegue atravessar...

uma folha de papel uma folha de alumínio de 10 cm
 uma parede de betão uma folha de chumbo de 5 cm

5. A técnica PET (Tomografia de Emissão de Pósitrons) tem como principal objectivo...

analisar os efeitos biológicos das radiações no corpo humano detectar fracturas nos ossos
 obter a imagem de um órgão a partir de radiação por ele emitida a terapia oncológica

nota: terá de limpar sempre que responder a teste

Figura 6.7: página html – teste conhecimentos nível 2

O último nível de dificuldade será denominado “apenas para quase cientistas” e terá como objectivo motivar os alunos para atingir um bom nível de conhecimentos.

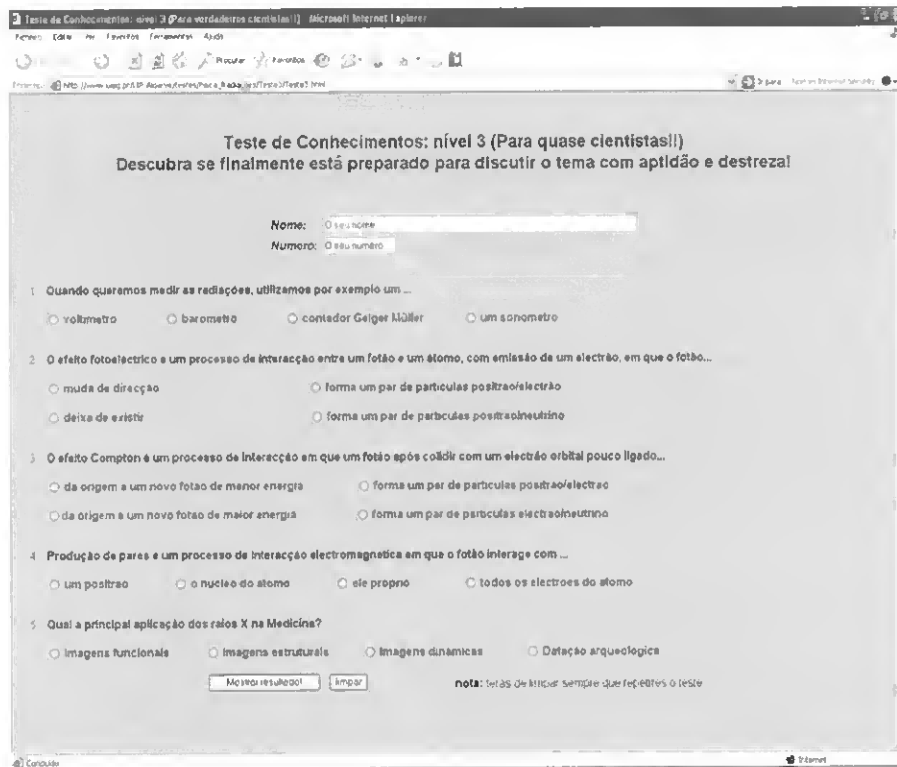


Figura 6.8: página html – teste conhecimentos nível 3

A própria página de teste, em linguagem informática Java, tem auto correcção e comentários adaptados a cada classificação obtida nesses testes, o que aumentará a autonomia dos alunos em relação ao professor.

Estando a página em linguagem html e Java será possível introduzi-la na Internet para possibilitar aos alunos visitá-la em suas próprias casas. De momento a página encontra-se disponível em:

http://www.ualg.pt/LIP-Algarve/testes/Fisica_Radiacoes/Fisicaradiacoes.htm

Será possível igualmente alterar facilmente vários aspectos relacionados com a página como por exemplo as perguntas dos testes.

Torna-se muito importante o facto dos alunos assimilarem que é possível, eles próprios, pesquisar um determinado fenómeno e conseguirem investigá-lo, com algum rigor científico, usando recursos ao seu alcance (a Internet por exemplo). Este facto contribui para a formação de indivíduos cientificamente literados, com capacidade para tomar posições ou decisões em questões relacionadas com Ciência.

6.3. Resultados obtidos com a utilização da página *html*

A física das radiações encontra-se de tal forma presente na vida das pessoas que é fundamental que estas possuam alguns conceitos básicos que permitam entender, mesmo que só na globalidade, a importância do seu estudo e desenvolvimento. O objectivo principal da página *html* é permitir aos alunos adquirir conhecimentos importantes para a sua própria cultura científica, de uma forma alternativa, sem recurso ao ensino formal. Sendo assim pareceu-nos importante avaliar o progresso dos alunos, a nível de conhecimentos, antes e após consultarem a página.

Para proceder a essa avaliação, elaborou-se um questionário que foi entregue aos alunos em dois momentos distintos: antes e depois da consulta da página. As questões, com resposta de escolha múltipla, foram seleccionadas tendo em conta os conhecimentos que considerámos essenciais para aplicação médica da física das radiações e que estão apresentados na página *html* (que serviu de ferramenta de trabalho. O facto do questionário apenas apresentar questões de escolha múltipla deve-se ao facto dos alunos deste nível etário ainda revelarem dificuldade em exprimir alguns conceitos que eventualmente possuam em relação ao tema, parecendo-nos preferível colocar as questões como “Selecciona a frase que te parece mais correcta:”. Aos alunos foram dadas duas semanas para visitarem o site e ‘aprenderem’ sobre a física das radiações e sua aplicação no caso concreto da medicina. É importante sublinhar que o objectivo deste questionário não é o de caracterizar o nível de conhecimentos dos alunos sobre física das radiações mas sim averiguar o sucesso da página *html* na aprendizagem. Sendo assim, as questões de escolha múltipla do questionário foram directamente relacionadas com a estrutura da própria página. A análise dos dados obtidos fez-se

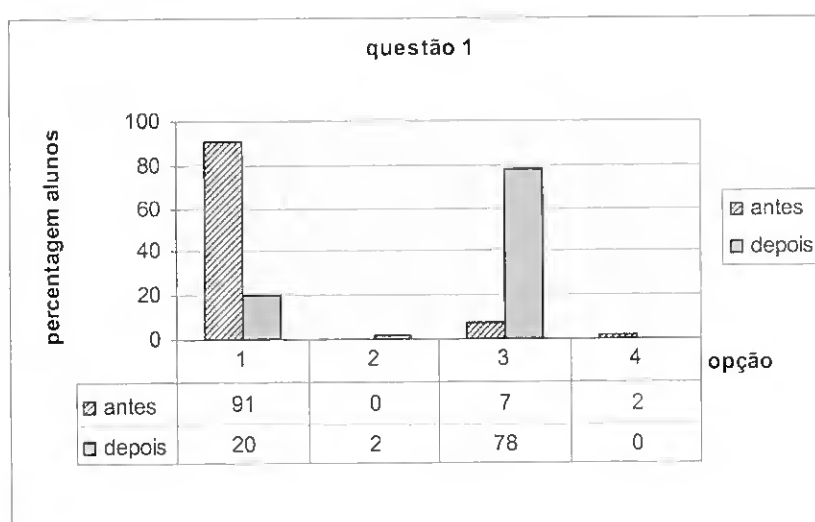
utilizando um tratamento estatístico elementar, calculando a percentagem de respostas escolhidas, para cada opção do questionário nos dois momentos. Os questionários foram aplicados nas três turmas do nono ano da Escola E.B. 2,3 do Montenegro, Concelho de Faro, num total de 44 alunos. Sendo uma amostra reduzida os dados obtidos servirão como indicação das potencialidades da página, das suas possíveis lacunas e do sucesso deste método de ensino, que é a aprendizagem auto-regulada. Por outro lado certamente alguns alunos não visitaram a página, tal como pedido, o que poderá também influenciar o rigor da análise às respostas.

Temas abordados no inquérito	Antes				Depois			
	a	b	c	d	a	b	c	d
1. A radiação proveniente de uma determinada fonte radioactiva, poderá curar e causar cancro.	91%	0%	7%	2%	20%	2%	78%	0%
2. Os diferentes órgãos do corpo humano são diferentemente sensíveis à radiação.	18%	46%	20%	16%	5%	72%	7%	16%
3. Os efeitos das radiações ionizantes sobre uma pessoa directamente exposta poderão surgir vários meses após a exposição.	30%	7%	36%	27%	23%	2%	2%	73%
4. Dá-se o nome de desintegração radioactiva α e β aos processos de transformação nuclear em que é alterada a proporção entre protões e neutrões.	21%	27%	2%	50%	18%	73%	9%	0%
5. A radiação γ é mais penetrante que a α ou a β .	17%	48%	5%	30%	5%	88%	7%	0%
6. Não é aconselhável tirar radiografias com muita frequência devido ao facto de estar sujeito a radiação acarretar algum risco.	32%	59%	2%	7%	34%	64%	0%	2%
7. A principal diferença entre a radiologia e a TC é que a TC permite imagens 3D.	30%	18%	2%	50%	16%	80%	2%	2%
8. Quando queremos medir as radiações utilizamos por exemplo um contador geiger-müller.	9%	14%	50%	27%	9%	2%	89%	0%
9. O principio básico da medicina nuclear é obter uma imagem a partir da radiação que provém do corpo do paciente.	16%	30%	14%	40%	20%	23%	57%	0%
10. O principio básico da radioterapia é tratar um paciente com recurso a radiações.	40%	21%	7%	32%	64%	23%	13%	0%

Tabela 6.1: distribuição das respostas dos alunos

a) A radiação proveniente de uma determinada fonte radioactiva, poderá curar e causar cancro

Pareceu-nos que um dos conceitos mais importantes que a página *html* pretende transmitir é que as radiações, podendo ser prejudiciais, têm uma componente fundamental na Medicina, quer no diagnóstico quer na terapia. As respostas dos alunos distribuíram-se do seguinte modo:

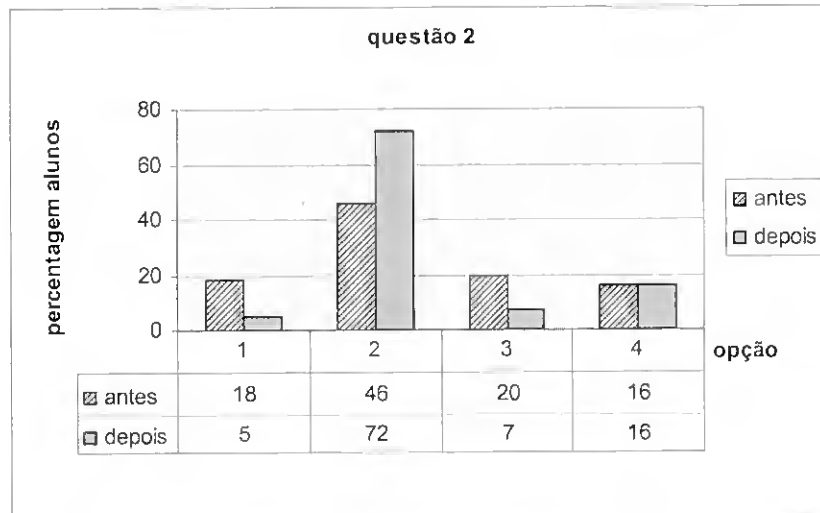


Graf. 6.1 – distribuição das respostas dos alunos - questão 1

Relativamente a este aspecto, a página revelou eficácia na transmissão da ideia da utilidade das radiações na Medicina. Se antes da visita à página 91% dos alunos achava que as radiações apenas causavam cancro, após a visita apenas 20% pensava do mesmo modo, sendo que 78% já revela possuir o conceito correcto.

b) Os diferentes órgãos do corpo humano são diferentemente sensíveis à radiação.

Este conceito é importante estar definido, pois está relacionado com a interacção da radiação com a matéria. As respostas dos alunos distribuíram-se do seguinte modo:

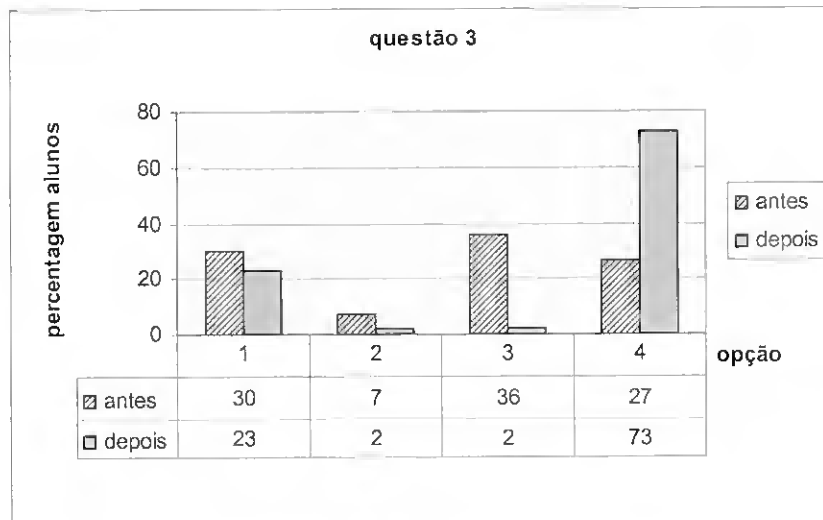


Graf. 6.2 – distribuição das respostas dos alunos - questão 2

As respostas relativas a este aspecto revelaram que 46% dos alunos já reconheciam as diferentes sensibilidades de alguns órgãos do corpo humano em relação às radiações antes da visita à página. Após a visita, a percentagem subiu para 72%, pelo que neste aspecto também se verificou uma melhoria acentuada. Mesmo assim, seria útil um maior destaque neste aspecto na página *html*, talvez com recurso a animações.

c) Os efeitos das radiações ionizantes sobre uma pessoa directamente exposta poderão surgir vários meses após a exposição.

Neste conceito que se relaciona com a identificação das radiações ionizantes e o período temporal em que se poderão verificar as consequências duma exposição excessiva a radiações, as respostas dos alunos distribuíram-se do seguinte modo:

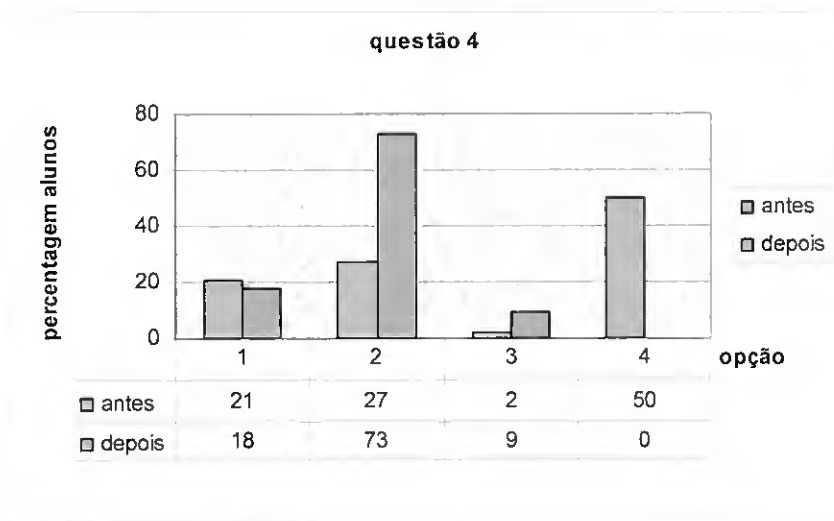


Graf. 6.3 – distribuição das respostas dos alunos - questão 3

Antes da visita à página as respostas dos alunos distribuíram-se pelas 4 afirmações, o que revelou uma enorme dificuldade em identificar as radiações ionizantes e seus efeitos. Após a visita à página, 73% dos alunos identificou a existência de um período temporal entre a exposição excessiva a radiações e os efeitos, o que revela que a página esclarece esse aspecto. É de realçar que, mesmo após a visita, ainda 23% dos alunos considera a radiação de Infra Vermelho ionizante, o que poderá indiciar que seria relevante realçar esse ponto.

d) Dá-se o nome de desintegração radioactiva α e β aos processos de transformação nuclear em que é alterada a proporção entre protões e neutrões

Este conceito que se relaciona com os processos de desintegração nuclear implicaria por parte dos alunos uma maior atenção às animações e ao texto da própria página, pelo que inicialmente se poderiam prever maiores dificuldades. As respostas dos alunos distribuíram-se do seguinte modo:

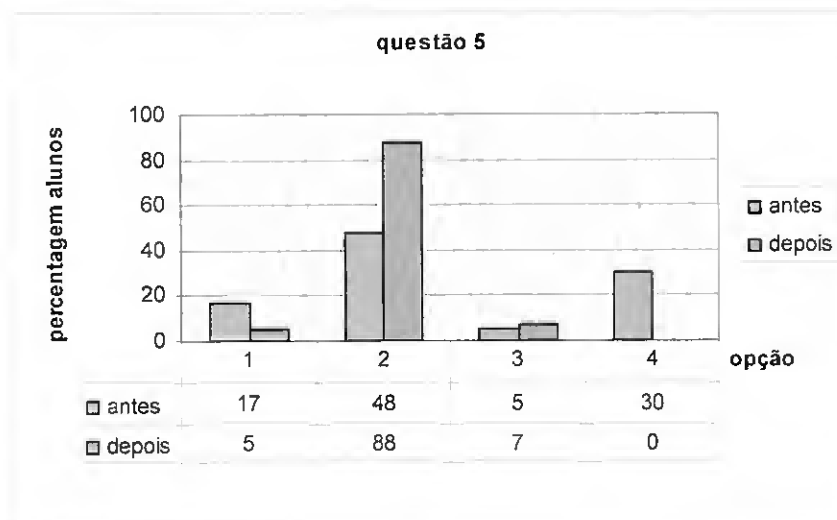


Graf. 6.4 – distribuição das respostas dos alunos - questão 4

A página revelou eficiência a clarificar este conceito, já que antes da visita apenas 27% dos alunos identificavam os processos como uma alteração da proporção entre prótons e neutrões e, após a visita, já 73% dos alunos a identificaram.

e) A radiação γ é mais penetrante que a α ou a β

Em relação a este conceito as respostas dos alunos distribuíram-se do seguinte modo:

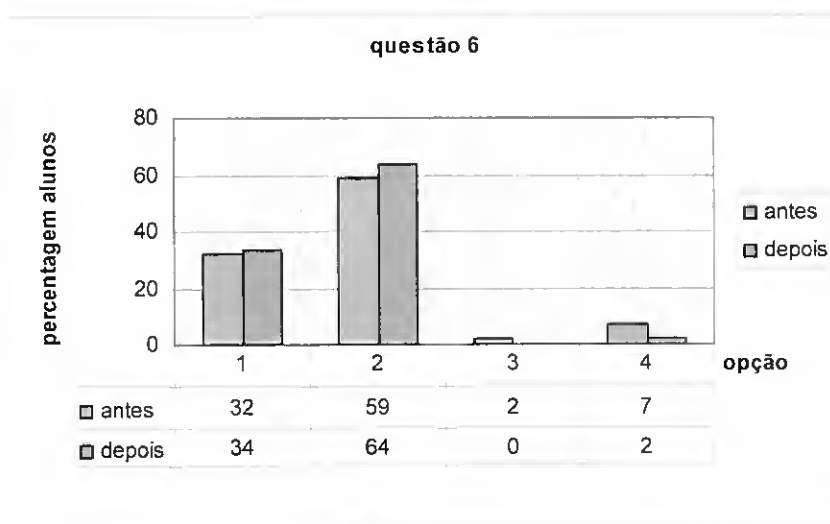


Graf. 6.5 – distribuição das respostas dos alunos - questão 5

É de concluir que em relação a este conceito a página obteve grande sucesso, uma vez que a percentagem de alunos que identificou a radiação gama como a mais penetrante evoluiu de 48% para 88%.

f) Não é aconselhável tirar radiografias com muita frequência devido ao facto de estar sujeito à radiação acarretar algum risco

É importante que os alunos tenham presente a noção de que demasiados exames radiológicos poderão acarretar alguns riscos, sendo que, as respostas dos alunos se distribuíram do seguinte modo:



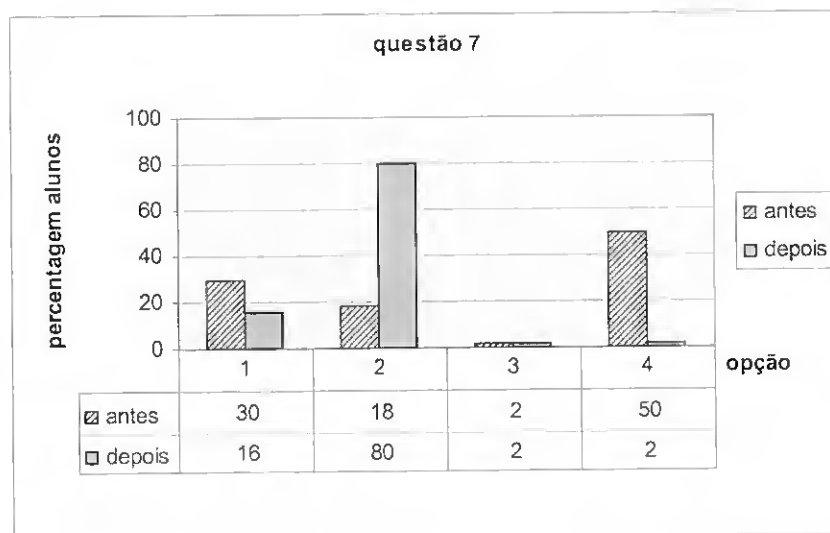
Graf. 6.6 – distribuição das respostas dos alunos - questão 6

Pela análise dos resultados poderá verificar-se que já inicialmente um grande número de alunos identifica os riscos inerentes a uma utilização frequente dos exames radiológicos. Neste aspecto poderá dizer-se que a evolução após consulta da página não foi tão acentuada como nos anteriores.

g) A principal diferença entre a radiologia e a TC é que a TC permite imagens

3D

Em relação a este conceito, tantas vezes comentado nos *media*, seria de prever que um grande número de alunos identificasse previamente a diferença entre estas duas técnicas radiológicas. As respostas dos alunos distribuíram-se do seguinte modo:

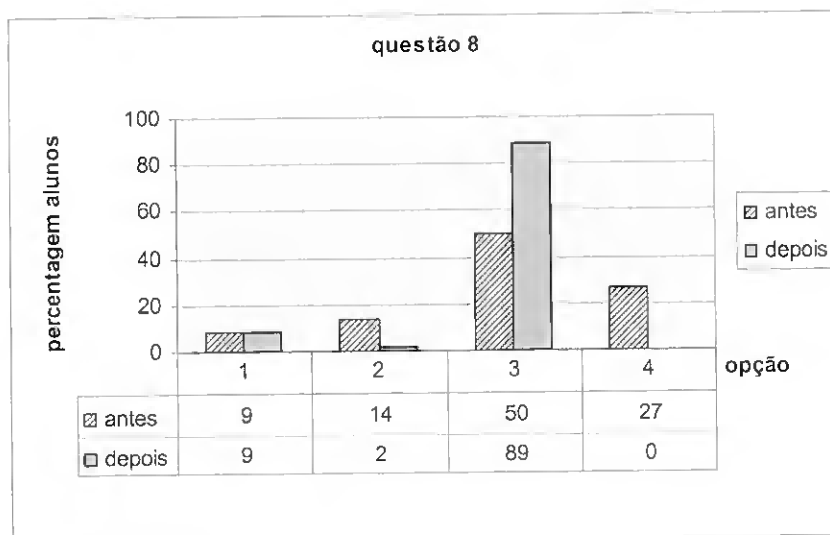


Graf. 6.7 – distribuição das respostas dos alunos - questão 7

Ao contrário do esperado, apenas 18% dos alunos revelaram distinguir a diferença fundamental entre as duas técnicas. Após a consulta da página, 80% dos alunos passaram a distinguir essa diferença, o que revela uma grande clarificação da página em relação a esse tópico.

h) Quando queremos medir as radiações utilizamos por exemplo um contador *geiger-müller*

No que diz respeito a saber como se poderá medir as radiações, as respostas dos alunos distribuíram-se do seguinte modo:

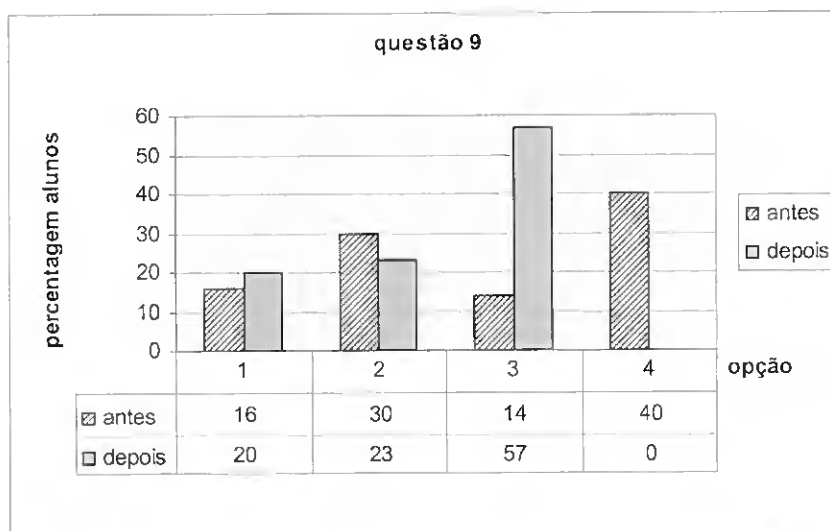


Graf. 6.8 – distribuição das respostas dos alunos - questão 8

É de alguma forma surpreendente que antes da visita, com as deficiências de conceitos já referidas, metade dos alunos tenham identificado o contador *geiger-müller*. De qualquer forma, após a consulta 89% dos alunos passaram a identificar aquele instrumento, o que é bastante aceitável para o objectivo da página.

i) O princípio básico da medicina nuclear é obter uma imagem a partir da radiação que provém do corpo do paciente

Em relação a este tópico, seria de esperar à priori resultados mais baixos, pois envolve conceitos com maior complexidade. As respostas dos alunos distribuíram-se do seguinte modo:

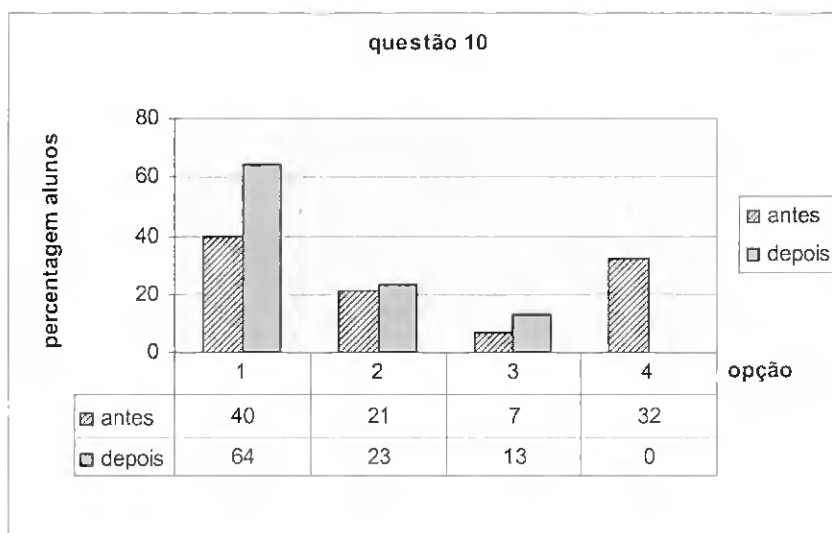


Graf. 6.9 – distribuição das respostas dos alunos - questão 9

Como esperado, apenas um número reduzido de alunos identificou o princípio básico da medicina nuclear. Após a consulta da página, esse número aumentou para 57% o que, apesar de positivo, não denota um sucesso ao nível do alcançado nos restantes tópicos anteriormente referidos. Talvez neste aspecto seja necessário um reforço de informação ainda mais simplificada na página, por forma a que esta seja mais perceptível por parte dos alunos.

j) O princípio básico da radioterapia é tratar um paciente com recurso a radiações

Tal como no tópico anterior, não será de esperar à priori resultados elevados, pois envolve conceitos com mais complexidade. As respostas dos alunos distribuíram-se do seguinte modo:



Graf. 6.10 – distribuição das respostas dos alunos - questão 10

Antes da consulta da página, uma percentagem significativa (40%) de alunos revelava conhecer o princípio básico da radioterapia. Talvez tenham feito a “divisão” do nome da técnica em terapia com radiações. Após a consulta da página, essa percentagem de alunos subiu para 64% o que, não denotando o sucesso da aprendizagem dos tópicos anteriores à afirmação 8, deixa indicações de que a página pode ser um grande instrumento de trabalho na aprendizagem deste tema.

Será de concluir que, após análise detalhada às respostas dos alunos antes e depois da consulta da página *html*, a evolução em termos conceptuais foi evidente. Apenas as duas últimas questões apresentaram uma percentagem um pouco menor de alunos a escolher a opção correcta, o que até pode ser compreensível uma vez que eram os conceitos de maior complexidade. Tendo sido a aprendizagem completamente da responsabilidade dos alunos, sem ajuda do professor, os resultados poderão considerar-se muito bons e reveladores de um grande sucesso destes tipos de aprendizagens. O

factor novidade e o uso das tecnologias de informação tornou-se bastante motivador para os alunos, sendo que estes tiveram espaço para ‘aprender com diversão’.

IV - Conclusão

Em nosso entender é fundamental que um cidadão entenda que os riscos inerentes à utilização das radiações não invalidam a sua aplicação na resolução de problemas importantes em áreas como a da Medicina (a nível de diagnóstico e de terapêutica), por exemplo. Daí que tenhamos centrado esta dissertação nesse emprego das radiações, atribuindo particular ênfase ao domínio da imagiologia médica.

O estudo aqui apresentado partiu de dois princípios de base, sendo que um deles é centrado nos alunos e o outro nos professores. Entendemos, pois, que:

- para ensinar alguns dos conceitos chave da física contemporânea, como neste caso da física das radiações, é necessário que as abordagens ao tema sejam motivadoras e facilmente assimiláveis pelos alunos;
- para se ensinar esta matéria, como qualquer outra, é necessário que o professor domine bem os conceitos que a constituem.

No que diz respeito à problemática motivacional, procurámos delinear formas alternativas de abordar a motivação dos alunos em sala de aula, recorrendo às tecnologias da informação e propondo uma análise do tema das Radiações Ionizantes à luz dos interesses pessoais dos alunos. O objectivo essencial no ensino da Ciência deve ser a compreensão, pelo que os alunos devem ser encorajados a levantar questões que sejam pertinentes ou fora do comum, mas relevantes, pois, na área das radiações, é notória uma falta de cultura científica e até a existência de preconceitos desacertados por parte dos alunos e até da população em geral. Com base nestes pressupostos, desenvolvemos actividades que visam um aumento do estímulo dos alunos para a aprendizagem da matéria em causa, mediante a criação de obstáculos que estes podem ultrapassar com relativa facilidade, partindo então para novos desafios. Trata-se, pois de

um conjunto de actividades com as quais propomos ampliar os índices de motivação para o sucesso dos alunos. Os objectivos das aplicações informáticas que criámos foram sempre claramente definidos, de modo a que os alunos entendam que as actividades não são realizadas ao acaso e que têm como objectivo o seu desenvolvimento intelectual. Todas as aplicações informáticas foram planificadas de forma a colocar a ênfase no ensino pela descoberta, seja esta guiada ou não, usando para isso um número razoável de actividades diversificadas e adequadas.

No que diz respeito à formação de professores, esta dissertação teve por objectivo funcionar como um fundamento teórico que permita àqueles que tenham algumas lacunas em termos conceptuais na física das radiações e, mais concretamente, no caso da física médica, actualizarem os seus conhecimentos e aplicá-los de forma eficaz nas suas aulas. Para além disso, as aplicações informáticas desenvolvidas nesta dissertação podem ainda constituir um ponto de partida para outros temas. Com efeito, a nível informático a página poderá ser facilmente adaptada até a outras matérias com recurso ao software *Microsoft Front Page* e as animações já realizadas, que estão disponíveis em CD anexo, tal como a página html, serão um bom ponto de partida para se entender a forma de programar no software *Macromédia Flash Mx*. Por outro lado, pretendemos que a descrição de toda a experiência adquirida pela nossa participação num projecto científico em curso sirva de incentivo para a participação mais frequente dos docentes noutros projectos. Considerando *que só quem faz pode ensinar*, é indispensável que os docentes se actualizem com frequência, mas que não se limitem aos estudos teóricos. É fundamental que participem em projectos científicos, produzindo e experimentando. No caso do projecto em que participámos - “Detectores de alta resolução para raios gama” - a própria associação de 2 motores passo a passo que, quando montados numa mesa xy,

permitem o movimento pretendido, poderão ser de enorme utilidade noutras aulas de Ciências Físico-Químicas, pois os motores passo a passo são utilizados em variadíssimas aplicações tecnológicas nos dias de hoje. Aliás, estando o ensino a tornar-se cada vez mais experimental, o controle de uma mesa xy poderá ser um dos instrumentos para a leccionação de outras matérias. A participação neste tipo de projectos poderá ainda facilitar a atribuição de bolsas de estudo de que o professor retirará naturalmente grandes dividendos para a sua formação, como sucedeu no nosso caso com a participação no programa HST 2004 no CERN.

Com esta dissertação gostaríamos ainda de contribuir para a implementação do ensino de alguns conceitos chave da física médica nas escolas, de forma a que o ensino não se fique apenas pelos tempos ancestrais da física clássica e se volte para alguma da física contemporânea.

1. Trabalho Futuro

Devido a esta ser uma área extensa, muito trabalho adicional poderá ainda ser realizado, alargando os temas relacionados com a Física das Radiações para além da Física Médica. As radiações ionizantes têm cada vez mais importância na sociedade, surgindo na Indústria (indicadores de nível em silos com um ambiente interior severo, esterilização de alimentos ou produtos provenientes de hospitais, detecção de falhas microscópicas em estruturas metálicas), na Agricultura (traçadores isotópicos para seguir o movimento ou evolução de objectos, sondas de humidade e densidade), na hidrologia (a utilização de isótopos ambientais para avaliação de recursos hídricos), no ambiente (causas e quantificação da poluição ambiental), e aplicações em investigação básica (isótopos utilizados como marcadores em investigação genética e feixes de radiações são utilizados como sondas para investigar a estrutura interna da matéria). O estudo poderia, portanto, ser alargado a qualquer um destes temas.

Poderia ainda ser bastante interessante desenvolver páginas que gerassem testes de forma automática e, dessa forma, alargassem ainda mais o leque de questões que estariam à disposição dos alunos. Seria importante também que software de apoio fosse desenvolvido de forma a possibilitar a interacção e o trabalho cooperativo entre os alunos e o próprio computador, quer em simulações de experiências quer na elaboração dos relatórios de actividades experimentais.

Referências Bibliográficas

Abreu, M.C.; Matias, L.; Peralta, L., (1994), *Física Experimental: uma introdução*.

Lisboa: Editorial Presença

Ball, John; Moore, Adrian D., (2003), *Essential Physics for Radiographers*. U.K.

Blackwell Publishing Company

Bushong, Stewart C., (1997), *Radiologic Science for Technologists*. U.S.A.: Mosby

Gofman, J. W., (1981), *Radiation and Human Health*. U.S.A.: Sierra Club Books

Guy, Chris; Ffytche, Dominic, (2000), *An Introduction to the Principles of Medical Imaging*. London: Imperial College Press

Greene, David; Williams, Peter C., (1997), *Linear Accelerators For Radiation Therapy*. U.S.A.: Institute of Physics Publishing

Hendee William R., (1999), *Biomedical uses of radiation – part B*. U.S.A.: WILEY-VCH

Johnson, D.W.; Johnson, R.,(1985), *Motivacional processes in cooperative, competitive, and individualist learning situations*. In C. Ames & R. Ames (Eds.), *Research on motivation in education (vol.2)*. The classroom milieu. New York, Academic Press

Jorge, Julia M.T.C., (1994), *Dissertação de mestrado: Radiações ionizantes*. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia

Krestel, Erich, (1990), *Imaging Systems for Medical Diagnostics*. German: Siemens

Leo, W.R., (1994), *Techniques for nuclear and particle physics experiments*. New York: Springer – Verlag

Lima, J.J. Pedroso, (2003), *Biofísica Médica*. Coimbra: Imprensa da Universidade

Lobato, Maria, (2003), *Dissertação de doutoramento: Perspectivas de introdução de conceitos quânticos no Ensino Secundário: análise de currículos e opiniões de professores*. Universidade de Burgos

McCormick, A.; Elliott A., (2001), *Health Physics*. Cambridge: Advanced Sciences

Milner, Bryan, (2001), *Nuclear and Particle Physics*. Cambridge: University Press

Mendes, Miquelina, (2002), *Dissertação de mestrado: Radiações e ambiente no ensino básico*. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia

Pisco, J. M.; e Sousa, Luís A., (1999), *Noções fundamentais de Imagiologia*. Lisboa: Lidel - edições técnicas, lda

Rego, Florbela M., (2004), *Dissertação de mestrado: As radiações no ensino*. Lisboa: Faculdade de Ciências

Ryan, R. M. ; Connell, J.P. ; Deci, E.L., (1985), *A motivacional analysis of self-determination and self-regulation in education*. In C. Ames & R. Ames (Eds.), *Research on motivation in education (vol.2)*. The classroom milieu. New York: Academic Press

Salgado, J.; Martinho E., (1996), *Introdução à física das radiações, programa Ciência Viva, à descoberta das radiações*. Sacavém: Instituto Tecnológico e Nuclear

Salgado, J.; Martinho E., (1997), *Manual de experiências de física das radiações, programa Ciência Viva, à descoberta das radiações*. Sacavém: Instituto Tecnológico e Nuclear

Scharf, Waldemar H., (1994), *Biomedical Particle Accelerators*. U.S.A.: American Institute of Physics

Schulthess, Gustav K. Von, (2003), *Clinical Molecular Anatomic Imaging*. U.S.A.: Lippincott Williams & Wilkins

Turner, James E., (1995), *Atoms, Radiation and Radiation Protection*. U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc.

Zaidi, Habib; Sgouros, George, (2003), *Therapeutic Applications of Monte Carlo Calculations in Nuclear Medicine*. U.S.A.: Institute of Physics Publishing

Bibliografia Comentada

Conhecimentos base sobre Física das Radiações

Milner, Bryan, (2001), *Nuclear and Particle Physics*. Cambridge: University Press

Salgado, J.; Martinho E., (1996), *Introdução à física das radiações, programa Ciência Viva, à descoberta das radiações*. Sacavém: Instituto Tecnológico e Nuclear

Salgado, J.; Martinho E., (1997), *Manual de experiências de física das radiações, programa Ciência Viva, à descoberta das radiações*. Sacavém: Instituto Tecnológico e Nuclear

Conhecimentos intermédios sobre Física das Radiações

Leo, W.R., (1994), *Techniques for nuclear and particle physics experiments*. New York: Springer – Verlag

Aplicações da Física das Radiações à Medicina

Ball, John; Moore, Adrian D., (2003), *Essential Physics for Radiographers*. U.K. Blackwell Publishing Company

Bushong, Stewart C., (1997), *Radiologic Science for Technologists*. U.S.A.: Mosby

Guy, Chris; Ffytche, Dominic, (2000), *An Introduction to the Principles of Medical Imaging*. London: Imperial College Press

Lima, J.J. Pedroso, (2003), *Biofísica Médica*. Coimbra: Imprensa da Universidade

McCormick, A.; Elliott A., (2001), *Health Physics*. Cambridge: Advanced Sciences

Pisco, J. M.; e Sousa, Luís A., (1999), *Noções fundamentais de Imagiologia*. Lisboa: Lidel - edições técnicas, lda

Endereços electrónicos sobre Física das Radiações

Materiais de apoio a professores:

<http://public.web.cern.ch/Public/Welcome.html>

<http://teachers.web.cern.ch/teachers/>

<http://www.lip.pt/>

<http://www.lip.pt/~luis/>

<http://www.coimbra.lip.pt/>

<http://www.ualg.pt/lip-algarve/>

<http://www.sppcr.online.pt/>

<http://physics.nist.gov/>

<http://dir.yahoo.com/Science/>

<http://www.lip.pt/~outreach/> (links da página)

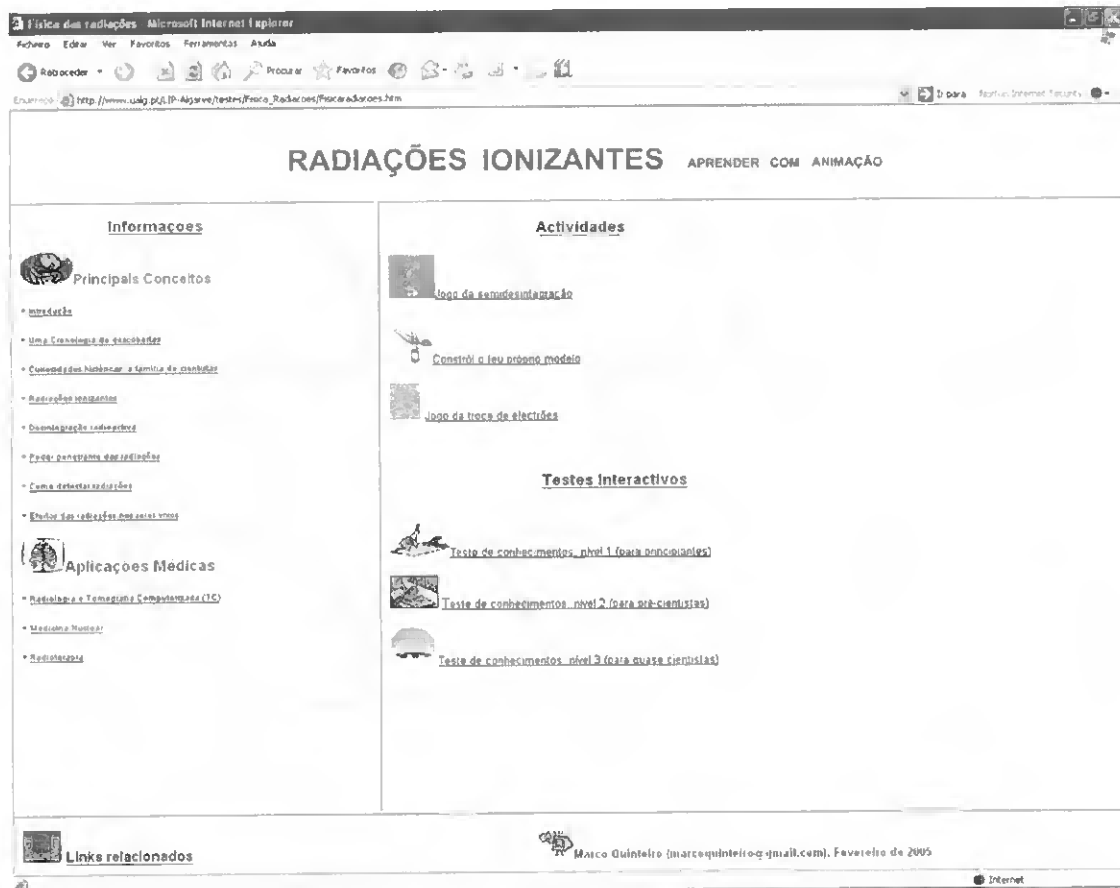
<http://particleadventure.org/particleadventure/> (versão em português)

Base de dados acerca de radionuclídeos

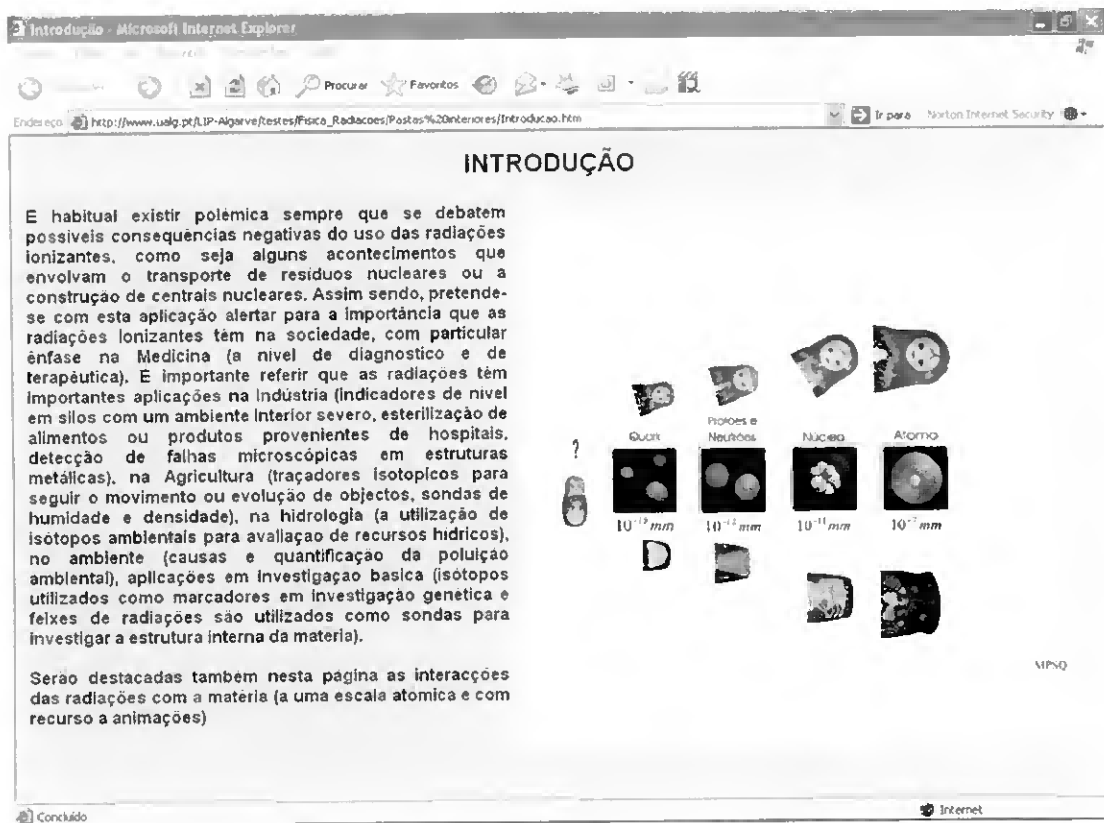
<http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/>

Anexo I
(Questionário aos alunos)

Anexo II
(Páginas *html*)



1. Página html – Física das Radiações - homepage



2. Página html – Física das Radiações - Introdução

Curiosidades Microsoft Internet Explorer

Ficheiro Editar Ver Favoritos Ferramentas Ajuda


Endereço: http://www.uscg.pt/A3/Algarve/Textos/Fisica_Radiacoes/Pastor%20terres/Cronologia.htm

Uma Cronologia de descobertas

Apesar de apenas há cerca de um século se ter tomado consciência da existência das radiações ionizantes, existiu a partir do início do século XX um enorme progresso científico e tecnológico que será descrito nesta secção, numa perspectiva histórica e em linhas necessariamente gerais

1895 - Descoberta dos raios-X (Wilhelm Roentgen)	1919 - Primeira reacção nuclear (Rutherford)
1896 - Descoberta da radioactividade (Becquerel)	1928 - Teoria da radioactividade alfa (Gamow)
1897 - Descoberta do electrão (Joseph Thomson)	1932 - Descoberta do neutrão (Chadwick)
1898 - Isolamento do elemento rádio (M. Curie e P. Curie)	1933 - Descoberta do pósitron (Carl Anderson)
1900 - Teoria quântica (Max Planck)	1934 - Teoria da radioactividade beta (Fermi)
1905 - Proposta de uma nova teoria quântica sobre o efeito fotoeléctrico (Einstein)	1939 - Descoberta da fissão nuclear (Otto Hahn, Fritz Strassmann)
1909 - Natureza das partículas alfa (Rutherford)	1942 - Primeira reacção em cadeia (Fermi)
1911 - Teoria atómica que destrói o átomo (Rutherford)	1948 - Modelo de camadas para o núcleo (Mayer, Haxel, Jensen e Suess)
	1964 - Descoberta dos quarks

Após a construção e desenvolvimento dos primeiros aceleradores de partículas o ritmo de descobertas aumentou, uma vez que se tornou possível realizar experiências e aplicações até aí impossíveis. Nos dias que correm prossegue-se o estudo do comportamento do núcleo e a análise das forças nucleares. As questões em aberto são muitas ainda



Concluido Internet

3. Página html – Física das Radiações – cronologia de descobertas

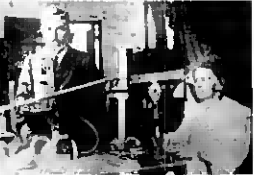
Curiosidades Microsoft Internet Explorer

Ficheiro Editar Ver Favoritos Ferramentas Ajuda

Endereço: http://www.uscg.pt/A3/Algarve/Textos/Fisica_Radiacoes/Pastor%20terres/Curiosidades.htm

Curiosidades históricas: Uma família de Cientistas

Marie Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906) foram um casal de Fisicos muito famosos do início do século XX. Marie nasceu na Polónia, sendo o seu nome de solteira Marie Sklodowska. Aos 16 anos começou a trabalhar como professora, usando o dinheiro do seu salário para pagar os estudos em Medicina da sua irmã Bronia. Em 1891, Marie deslocou-se para Paris para estudar Física tendo, na Primavera de 1894, conhecido aquele que seria o seu futuro marido, Pierre Curie. Marie começou o seu trabalho procurando substâncias que emittissem radioactividade. Estudou cuidadosamente as propriedades de um mineral que contém urânio chamado pechblendá. Pierre juntou-se à investigação da sua esposa tendo ambos descoberto nesse mineral os elementos químicos rádio e polónio.



Pierre & Marie Curie (BM Wordbook 1991)

Pierre continuou estudando os efeitos das radiações no corpo humano, construindo os fundamentos da radioterapia usada hoje em dia nos tratamentos do cancro enquanto que Marie tentou obter uma amostra de rádio isolado. Marie doutorou-se em Ciência no ano de 1903, tendo, nesse mesmo ano, ganho o Prémio Nobel da Física. Sendo a primeira mulher a receber um Prémio Nobel conseguiu repetir a proeza em 1911, desta vez pelos seus estudos na Química dos compostos de rádio. Marie teve duas filhas, Irène e Eve. A morte precoce do seu marido (1906), atropelado por uma carruagem de cavalos, deu-lhe um enorme desgosto, tendo direccionado todas as suas energias para a investigação científica. Durante a Primeira Guerra Mundial, Marie e a sua filha, Irène, trabalharam com radiografias. Depois da guerra direccionou as suas investigações para as aplicações medicas da radioactividade. Marie morreu em 1934, vítima do efeito nocivo da radioactividade que ainda não se conhecia (morreu de leucemia). A sua filha Irène deu também importantes contributos para a Ciência, tendo descoberto a radioactividade artificial, que lhe valeu o Prémio Nobel 1935, juntamente com o seu marido, Frédéric Joliot.

Concluido Internet


4. Página html – Física das Radiações – Curiosidades históricas

Radiações Ionizantes - Microsoft Internet Explorer

Endereço: http://www.ualg.pt/LIP-Algarve/testes/Fisica_Radacoes/Pastas%20interiores/Radioncizantes.htm

Radiações ionizantes

De um modo geral, é correcto dizer-se que radiações ionizantes são aquelas capazes de produzir ionização em estruturas biológicas. Para ionizar os átomos mais frequentes nas moléculas orgânicas serão necessárias energias mínimas, que variam entre 11 e 14 eV. De acordo com esta definição, são radiações ionizantes as partículas α , β , neutrões e as radiações de pequeno comprimento de onda (alta energia) como as γ , X e UV (raios ultravioleta). No caso particular das radiações X e γ , a ionização deve-se aos electrões que são libertados após as interacções primárias dos fotões com os átomos do meio. Quando fotões de uma qualquer radiação electromagnética colidem com a matéria poderão sobretudo interagir com os electrões orbitais dos átomos ou menos frequentemente com o núcleo do absorvente. Os processos de interacção dos fotões com a matéria poderão ser por **Efeito Fotoeléctrico**, por **Efeito Compton** ou por **Produção de Pares**.



Efeito fotoeléctrico

Efeito Compton

Produção de pares

Internet

5. Página html – Física das Radiações – Radiações ionizantes

Efeito Fotoeléctrico - Microsoft Internet Explorer

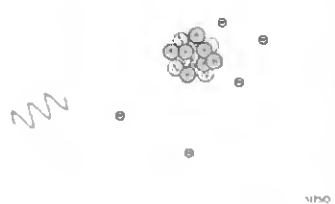
Endereço: http://www.ualg.pt/LIP-Algarve/testes/Fisica_Radacoes/Pastas%20interiores/EfeitoFotoelec.htm

Efeito fotoeléctrico

O efeito fotoeléctrico é um processo de interacção em que um fotão de energia E_γ , interage com o átomo como um todo, resultando na ejeção de um electrão orbital. O fotão é absorvido, perdendo toda a sua energia no processo de ionização. A energia cinética (E_c) do electrão libertado (fotoelectrão) é dada pela diferença entre a energia do fotão, $h\nu$, e o trabalho de extracção do electrão, w_e :

$$E_c = h\nu - w_e$$

Os fotoelectrões em movimento vão, por sua vez, interagir com a matéria. Em consequência do rearranjo dos electrões orbitais no átomo são emitidos raios X (podendo ser UV nos elementos mais leves), característicos dos átomos ionizados. A probabilidade de haver efeito fotoeléctrico é tanto maior quanto maior for a ligação do electrão ao átomo, ou seja, e mais provável ocorrer efeito fotoeléctrico numa camada electrónica mais próxima do núcleo.



Efeito Compton

Produção de pares

Internet

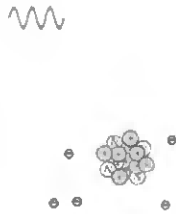
6. Página html – Física das Radiações – Radiações ionizantes – Efeito Fotoeléctrico

Efeito Compton

O efeito Compton é um processo de interacção que envolve um choque elástico entre um fóton e um electrão livre ou pouco ligado ao átomo (camadas exteriores). O fóton inicial dá origem a um novo fóton, de menor energia. A energia restante é transferida para o electrão Compton (ou de recuo) e muda de direcção de propagação. Considerando que a energia e a quantidade de movimento têm de ser conservadas durante a colisão, conclui-se que a energia cinética do electrão de recuo, E_c , é dada pela diferença entre a energia do fóton antes da colisão (fóton incidente), $h\nu$, e depois da colisão (fóton dispersado ou difundido), $h\nu'$.

$$E_c = h\nu - h\nu'$$

A energia transferida do fóton incidente para o electrão de recuo é máxima se a colisão for frontal e será mínima no caso de uma colisão tangencial. A probabilidade de se dar o efeito de Compton diminui quando a energia do fóton aumenta e aumenta com o número atómico dos materiais, sendo o electrão libertado uma partícula ionizante secundária.



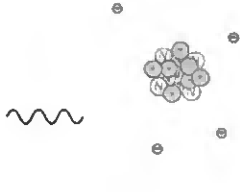
Efeito fotoeléctrico

Produção de pares

7. Página html – Física das Radiações – Radiações ionizantes – Efeito Compton

Produção de pares

É um processo de interacção electromagnética do fóton com o campo eléctrico do núcleo do átomo. Dessa interacção resulta que o fóton deixa de existir, formando-se um par de partículas electrão/positrão. Chama-se materialização de energia a este processo, uma vez que se produzem partículas materiais a partir de radiação electromagnética. Pela lei da conservação da massa-energia, a produção de pares apenas ocorrerá se o fóton tiver uma energia superior a 1,022 MeV que é o dobro da energia equivalente à massa de um electrão em repouso: $h\nu > 2 \times m_e c^2$. A energia cinética do par electrão/positrão será tanto maior quanto maior for o excesso de energia do fóton em relação a 1,02 MeV. Além disso este processo somente ocorre na presença de matéria, dado que é necessária uma troca de quantidade de movimento com um núcleo pesado para que se conserve a energia e a quantidade de movimento.



Efeito fotoeléctrico

Efeito Compton

8. Página html – Física das Radiações – Radiações ionizantes – Produção de pares


Desintegração Radioactiva Microsoft Internet Explorer

Fichero Editar Ver Favoritos Ferramentas Ajuda

Endereço: http://www.ualg.pt/LIP-Algarve/testes/Fisica_Radiacoes/Pastas%20interiores/DesinteRad.htm

Desintegração Radioactiva

Se o núcleo de um determinado nuclídeo se encontrar numa situação de instabilidade, seja por ter um excesso de prótons ou de neutrões, ou excesso de ambos, tende a transformar-se noutra nuclídeo mais estável. A este processo de transformação nuclear em que é alterada a proporção entre prótons e neutrões dá-se o nome de desintegração radioactiva. Devido às desintegrações que vão acontecendo ao longo do tempo, o número de núcleos instáveis contidos numa fonte radioactiva vai diminuindo. Os processos de desintegração radioactiva mais comuns são os de **desintegração α (alfa)**, **β (beta)** e **γ (gama)**.



- desintegração α (alfa)**
- desintegração β^- (beta menos)**
- desintegração β^+ (beta mais)**
- desintegração γ (gama)**

Internet

9. Página html – Física das Radiações – Desintegração radioactiva


Radiações Ionizantes Microsoft Internet Explorer

Fichero Editar Ver Favoritos Ferramentas Ajuda

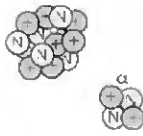
Endereço: http://www.ualg.pt/LIP-Algarve/testes/Fisica_Radiacoes/Pastas%20interiores/desintegracao%20alfa.htm

Desintegração α (alfa)

Na altura em que foi descoberta a emissão do rádio 226 (1898), por M. Curie e P. Curie, chamou-se ao fenómeno radioactividade α ou emissão α . As partículas emitidas deu-se o nome de partículas α apenas por ser a primeira letra do alfabeto grego. Posteriormente, verificou-se que essas partículas eram um núcleo de hélio, formado por 2 prótons e 2 neutrões. As partículas α emitidas apresentam energias bem definidas e podem ser utilizadas para caracterizar o núcleo de onde provêm.



- desintegração β^- (beta menos)**
- desintegração β^+ (beta mais)**
- desintegração γ (gama)**



Internet

10. Página html – Física das Radiações – Desintegração radioactiva – Desintegração α

Radições Ionizantes - Microsoft Internet Explorer

Ficheiro Editar Ver Favoritos Ferramentas Ajuda

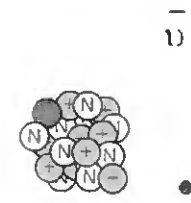
Retroceder Procurar Favoritos Ir para Norton Internet Security

Endereço http://www.ualg.pt/LIP-Algarve/testes/Fisica_Radacoes/Pastas%20interiores/desintegracao%20betamenos.htm

Desintegração β^- (beta menos)

A partícula β^- é um electrão emitido pelo núcleo do átomo. O electrão é originário de uma transformação de um dos neutrões num próton, um electrão e um antineutrino. O electrão e o antineutrino abandonam o núcleo, chamando-se a esse processo emissão beta. O núcleo resultante apresenta portanto um neutrão a menos e um próton a mais.

O símbolo $\bar{\nu}$ representa o antineutrino que é uma partícula neutra, com massa quase nula, de spin $\frac{1}{2}$, que interage fracamente com a matéria. Esta partícula é emitida pelo núcleo juntamente com o electrão.



desintegração α (alfa)
desintegração β^+ (beta mais)
desintegração γ (gama)

Internet

11. Página html – Física das Radiações – Desintegração radioactiva – Desintegração β^-

Radições Ionizantes - Microsoft Internet Explorer

Ficheiro Editar Ver Favoritos Ferramentas Ajuda


Retroceder Procurar Favoritos Ir para Norton Internet Security

Endereço http://www.ualg.pt/LIP-Algarve/testes/Fisica_Radacoes/Pastas%20interiores/desintegracao%20betamas.htm

Desintegração β^+ (beta mais)

Um núcleo que seja instável por ter um excesso de prótons tende a que um próton se converta num neutrão, que fica no núcleo, sendo emitidos um positrão e um neutrino.

Chama-se partícula β^+ a esse electrão positivo emitido pelo núcleo. E de realçar que as partículas β^+ , na parte final do seu percurso, quando a velocidade já é diminuta, combinam-se com um electrão livre, convertendo-se em radiação electromagnética.



desintegração α (alfa)
desintegração β^- (beta menos)
desintegração γ (gama)

Internet

12. Página html – Física das Radiações – Desintegração radioactiva – Desintegração β^+

Radiações Ionizantes - Microsoft Internet Explorer

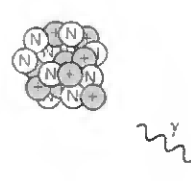
Ficheiro Editar Ver Favoritos Ferramentas Ajuda

Retroceder

Endereço: http://www.usq.pt/LIP-Algarve/testes/Fisica_Radacoes/Pastas%20interiores/desintegracao%20gama.htm

Desintegração γ (gama)

A emissão gama (γ) resulta de uma libertação de energia em excesso pelo núcleo de um átomo sob a forma de radiação electromagnética. O decaimento gama poderá estar associado a outros decaimentos como o α ou o β se os núcleos descendentes estiverem num estado excitado. Os fotões γ têm uma energia muito superior aos da luz visível e, regra geral, também aos dos raios X, sendo portanto mais penetrantes.



desintegração α (alfa)

desintegração β^- (beta menos)

desintegração β^+ (beta mais)

Concluído

13. Página html – Física das Radiações – Desintegração radioactiva – Desintegração γ

Poder Penetrante - Microsoft Internet Explorer

Ficheiro Editar Ver Favoritos Ferramentas Ajuda

Procurar

Endereço: http://www.usq.pt/LIP-Algarve/testes/Fisica_Radacoes/Pastas%20interiores/PoderPenetrante.htm

Poder penetrante das radiações

Os tipos mais frequentes de radiação nuclear são alfa, beta, neutrões e gama.

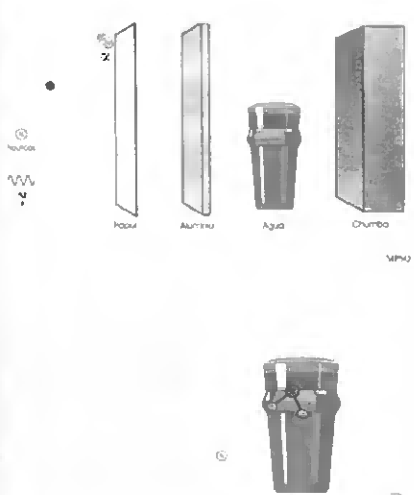
É possível distingui-las experimentalmente tanto pelo seu poder penetrante como pelo desvio das radiações por acção de imanes ou da corrente eléctrica.

As radiações alfa são núcleos de átomos do elemento químico hélio (dois prótons e dois neutrões). Estas radiações têm um fraco poder penetrante, sendo impedidas de prosseguir por uma simples folha de papel, por exemplo.

As radiações beta são electrões que se movimentam a grande velocidade, tendo já algum poder penetrante, podendo penetrar numa mão ou numa chapa de alumínio de uma espessura máxima de 3 mm.

Os neutrões são penetrantes, mas na água são detidos pelos prótons constituintes da molécula.

As radiações gama resultam da libertação de energia pelo núcleo após ter ficado excitado (com excesso de energia), e pulsando essa energia sob a forma de ondas electromagnéticas, que se deslocam à velocidade da luz tendo portanto uma grande quantidade de energia. O seu poder penetrante é maior, podendo atravessar uma chapa de chumbo (mais densa que a de alumínio) até uma espessura máxima de 25 mm.



Concluído

14. Página html – Física das Radiações – Poder Penetrante das radiações

Como detectar radiações - Microsoft Internet Explorer

Endereço: http://www.ualg.pt/lp- Algarve/testes/Fisica_Radacoes/Pastas%20interiores/DefectarRad.htm

Como Detectar Radiações

Apesar de não ser a única forma de detecção, existe um dispositivo, chamado contador de Geiger-Müller (GM) que permite detectar as radiações apesar do seu poder ionizante. É constituído por um tubo cilíndrico com um electrodo central (positivo), isolado das paredes exteriores, contendo o tubo o gás argon. Num extremo do tubo existe uma janela fina para permitir a passagem das radiações que ionizando o gás presente no tubo. Os electrões libertados dirigem-se para o ânodo, originando novas ionizações. As ionizações sucessivas produzem impulsos de corrente eléctrica, que são contados no contador do aparelho.

The diagram shows a cylindrical Geiger-Müller tube on the left with a central electrode and a thin window at one end. A particle ('Partícula') is shown entering through the window. The tube is filled with Argon ('Argon'). On the right, the tube is connected to a rectangular counter unit ('Contador') which has a scale and several buttons. A power source ('Fonte') is also connected to the tube.

Internet

15. Página html – Física das Radiações – Como detectar radiações

Efeitos das radiações nos seres vivos - Microsoft Internet Explorer

Ficheiro Editor Ver Favoritos Ferramentas Ajuda

Endereço: http://www.ualg.pt/lp- Algarve/testes/Fisica_Radacoes/Pastas%20interiores/EfeitosRad.htm

Efeitos das radiações nos seres vivos

As diferentes radiações têm efeitos biológicos diferentes no corpo humano, existindo no ser humano zonas mais sensíveis aos efeitos das radiações do que outras, como mostra a figura seguinte

The diagram shows a human silhouette with various organs labeled: Pele (Skin), Pulmão (Lung), Rins (Kidney), Estômago (Stomach), Baço (Spleen), Rins (Kidney), and Cólon (Colon). A vertical bar on the right indicates the relative sensitivity of these organs, with the most sensitive organs (like the lungs and stomach) having the highest sensitivity levels.

Adaptado de http://www.millennium-ark.net/News_Files/NBC/radiation_human_body.html

Nem todas as células vivas têm a mesma sensibilidade a radiação. As células mais activas são mais sensíveis, devido ao facto de a divisão celular ser mais regular (o DNA tem de ser correctamente reproduzido para que a nova célula possa sobreviver), como sucede com as células dos pulmões, do peito ou do estômago, por exemplo. Uma interacção directa da radiação com determinada célula pode resultar na morte ou mutação desta, enquanto que numa outra célula o efeito pode não ter a menor consequência.

Internet

16. Página html – Física das Radiações – Como detectar radiações

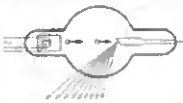
Radições Ionizantes - Microsoft Internet Explorer

Ficheiro Editar Ver Favoritos Ferramentas Ajuda


Endereço http://www.usig.pt/LIP/Algarve/teses/Fisica_Padacoes/pastas%20interiores/radiologia%20TC.htm

Radiologia e Tomografia Computadorizada

Atribui-se a Wilhelm Konrad Röntgen, em 1895, a descoberta dos raios X. Roentgen, estudante numa Universidade de Zurique, na Suíça, tinha um grande interesse pela fotografia. Certo dia, Roentgen deixou algumas placas fotográficas sob um livro com uma capa metálica que tinha um desenho de uma chave. Na mesa estava uma ampola ligada com a qual Röntgen fazia experiências; dias mais tarde, ao revelar uma fotografia feita com uma das referidas placas, viu a imagem da chave. Roentgen foi repetindo a experiência para encontrar a explicação do fenómeno. Esta importante descoberta depressa se espalhou pelo mundo, tendo mesmo sido atribuído a Röntgen o Prémio Nobel (1901), facto que veio associar os raios X ao mais alto galardão científico.



Relativamente à produção de raios X, é importante salientar que no interior de um tubo de raios X existe uma câmara de vácuo que contém um filamento, um cátodo e um ânodo, que estão sujeitos a uma diferença de potencial cujo valor varia conforme o fim do aparelho mas que no caso da radiologia anda à volta de 100 kV. O filamento interior é aquecido pela passagem da corrente e, consequentemente, são emitidos electrões. Esses electrões são acelerados pela diferença de potencial, dirigindo-se para o ânodo (electrodo positivo). Ao atingirem o ânodo, a maior parte da sua energia é transformada em energia térmica, mas uma pequena parte causa a emissão de raios X, devido às desexcitações electrónicas. Com efeito, quanto maior for a diferença de potencial entre os electrodos, maior será a energia dos raios X.



Radiologia

Tomografia Computadorizada (TC)

Concluído Internet

17. Página html – Física das Radiações – Radiologia e Tomografia Computadorizada

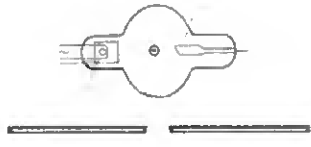
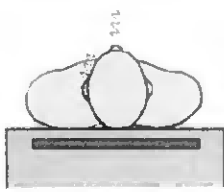

Como detectar radiações - Microsoft Internet Explorer

Ficheiro Editar Ver Favoritos Ferramentas Ajuda

Endereço http://www.usig.pt/LIP/Algarve/teses/Fisica_Padacoes/pastas%20interiores/radiologia.htm

Radiologia

Basicamente, um aparelho de raios X é constituído por três elementos: a fonte de raios X, o colimador e o detector. Relativamente ao colimador, há a realçar o facto de se tratar de uma grelha composta por lâminas opacas aos raios X, que tem como objectivo propiciar os raios X que atravessaram o paciente em linha recta (sem terem sofrido desvios) e atingem o detector. Quanto aos detectores, e apesar da complexidade do processo de detecção, é de destacar que tal como um filme fotográfico, um filme de raios X consiste numa folha de plástico inerte revestida com uma emulsão de cristais de brometo de prata. A escolha desses cristais deve-se ao facto de os fótons de raios X interagirem com os átomos de prata e de bromo, deixando estes, após essa interacção, de ter a cor prata, assumindo tonalidades mais escuras, e construindo assim a imagem.

Radiologia

Tomografia Computadorizada (TC)

MPSQ Internet

Concluído

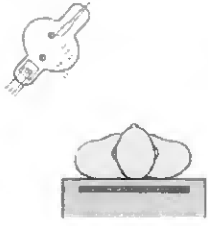

18. Página html – Física das Radiações – Radiologia e TC - Radiologia

Como detectar radiações - Microsoft Internet Explorer

Endereço: http://www.ualg.pt/LIP-Algarve/testes/Fisica_Radacoes/Pastas%20interiores/TC.htm

Tomografia Computadorizada

Uma das limitações mais importantes das imagens de raios X convencionais é o facto de parte da informação obtida ser o resultado da absorção da radiação ao longo de vários órgãos sobrepostos. Uma solução será portanto usar um feixe rotativo de raios X para obter imagens tridimensionais. As imagens obtidas pela TAC não são mais que imagens a 3 dimensões obtidas com base noutras imagens, a 2 dimensões, para diferentes ângulos e com movimento, passo a passo, ao longo de uma zona do corpo humano. Numa tomografia computadorizada a fonte de raios-X, os colimadores e os cristais cintiladores (que convertem os fótons recebidos em impulsos eléctricos) no lado oposto, rodam em torno do paciente. Após todo esse processo as projecções são convertidas em elementos de volume que serão analisados por um computador que posteriormente reconstruirá a imagem.

Radiologia

Concluido


19. Página html – Física das Radiações – Radiologia e TC - TC

Como detectar radiações - Microsoft Internet Explorer


Endereço: http://www.ualg.pt/LIP-Algarve/testes/Fisica_Radacoes/Pastas%20interiores/medicina%20nuclear.htm

Medicina Nuclear

O princípio básico das Imagens de Medicina Nuclear é obter uma imagem a partir da radiação que vem do órgão a examinar. Para obter essa imagem administra-se ao paciente um radiofarmaco (que contém um elemento radioactivo na sua estrutura) que seja importante na função orgânica específica que se pretende analisar. A diferença entre a Medicina Nuclear, a radiologia e a radioterapia externa é o facto de nestes dois últimos casos a fonte de radiação ser externa.

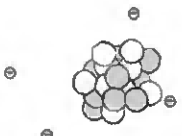


PET (Tomografia de Emissão de Pósitrons)



SPECT (Tomografia de Emissão de Fóton Único)

Desintegração do Flúor



○ Neutrão
● Próton
ν - neutrino

MPVQ

Concluido


20. Página html – Física das Radiações – Medicina Nuclear

Como detectar radiações - Microsoft Internet Explorer


Endereço: http://www.uaiq.pt/FLIP-AIja/vetores/Fisica_Padaoes/Pastas%20anteriores/PET.htm

PET (Tomografia de Emissão de Positrões)

Nesta técnica o radionuclídeo administrado ao paciente desintegra-se emitindo positrões de energia cinética da ordem de 1MeV. Se esses positrões estiverem na proximidade de tecidos moles, conseguem percorrer alguns milímetros antes de interagir com electrões. Após a aniquilação geram-se 2 fótons, de energias de 511 keV (equivalente a massa de repouso de um electrão), emitidos em direcções opostas. O paciente está envolvido por detectores que devem responder a cada evento proveniente do seu corpo (formação de dois fótons diametralmente opostos de cada lado do ponto de emissão, previamente inserido no seu corpo). Esses detectores são de cintilação e ligados electronicamente de modo a detectarem coincidências (se a radiação registada por cada um deles foi emitida simultaneamente ou com uma pequena diferença de tempo). Uma vez que a detecção é feita por coincidências e não exclusivamente por colimação e existem mais eventos, esta técnica torna-se de melhor resolução que a SPECT. Após a análise a todas as coincidências, esta técnica permite, tal como na SPECT a formação de imagens 3D.



MPSO



SPECT (Tomografia de Emissão de Fóton Único)

Condição Internet

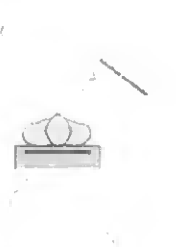
21. Página html – Física das Radiações – Medicina Nuclear- PET

Como detectar radiações - Microsoft Internet Explorer

Endereço: http://www.uaiq.pt/FLIP-AIja/vetores/Fisica_Padaoes/Pastas%20anteriores/SPECT.htm

SPECT (Tomografia de Emissão de Fóton Único)

Esta técnica consiste em obter imagens tri-dimensionais (adquiridas em diferentes planos) através da medição da actividade dos isótopos previamente administrados ao organismo dum paciente, que decaem emitindo radiação gama. Para adquirir os diversos planos utilizam-se câmaras gama que fazem a aquisição de séries de imagens planares ao mesmo tempo que rodam a volta do doente. Essas imagens são utilizadas para originar cortes tomográficos através do corpo, combinando detecções a volta do paciente, rodando os detectores em torno deste. A vantagem desta técnica é a obtenção de uma imagem em 3D da distribuição do traçador no paciente. As desvantagens prendem-se com o tempo necessário para a recolha de dados e formação da imagem (envolve um processo matemático complexo) e a dose elevada do radioisótopo que é necessário administrar pois é necessário um sinal intenso. Nos últimos anos as câmaras mais modernas passaram a conter 2 ou até 3 cabeças de detecção para aumentar a sensibilidade a radiação emitida.



MPSO

PET (Tomografia de Emissão de Positrões)

Internet

22. Página html – Física das Radiações – Medicina Nuclear- SPECT

Como detectar radiações - Microsoft Internet Explorer

Endereço: http://www.uaiq.pt/LP-Algarve/teores/Fisica_Padicoes/Postos%20interiores/radioterapia.htm

Radioterapia

A radioterapia é actualmente um exemplo do sucesso da aplicação da física no tratamento de patologias sendo a principal técnica usada em terapia oncológica. Apesar da sua utilização já ser rotineira, é uma técnica que ainda está em evolução pois é necessário que seja maximizada a dose enviada ao tumor e minimizada em torno deste, nos tecidos saudáveis. A radiação ionizante tem a particularidade de em certas condições e em grandes doses eliminar as células. Felizmente que, no caso de tecidos cancerígenos, a radiação concentra-se nestes, minimizando assim os efeitos causados nos tecidos sãos. Para que o tratamento seja o menos prejudicial possível é necessário, como já referido, que a dose de radiação de grande energia seja depositada no volume do alvo (células cancerígenas) reduzindo portanto a exposição das células saudáveis. Actualmente os tratamentos por radioterapia são efectuados apenas por secções bastante determinadas do paciente, tendo como objectivo a redução da exposição dos tecidos saudáveis. Os sistemas estão ligados a um computador que vai calculando ao longo do tratamento a dose fornecida a cada ponto e proporcionando uma imagem 3D do volume do alvo e da distribuição da dose a partir de vários ângulos, garantindo assim a uniformidade e eficácia do tratamento.



MPV2

Concluído

23. Página html – Física das Radiações – Radioterapia

Jogo da semidesintegração - Microsoft Internet Explorer

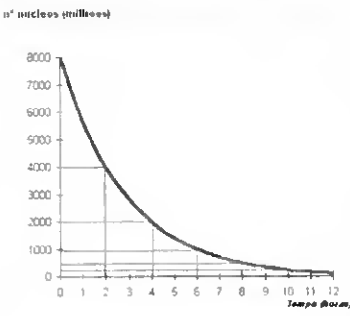
Endereço: http://www.uaiq.pt/LP-Algarve/teores/Fisica_Radiaoos/Jogo/Br130300.htm

Antes de jogar o "Jogo da semidesintegração" convém relembrar que designa-se por período de semidesintegração ($T_{1/2}$) o intervalo de tempo que, a actividade de uma substância demora a reduzir-se a metade. O período de semidesintegração é característico de cada elemento radioactivo e tem valores que podem variar desde segundos até biliões de anos.

exemplos de alguns isótopos radioactivos


Nome do isótopo radioactivo	$T_{1/2}$ (dias)
Fósforo - 32	14,28
Fósforo - 33	24,40
Enxofre - 35	87,90

Nome do isótopo radioactivo	$T_{1/2}$ (anos)
Tório - 232	1,15
Sódio - 22	2,602
Urânio - 233	159200



nº núcleos (milhões)

Tempo (horas)



Jogo da Semidesintegração

Internet

24. Página html – Física das Radiações – Jogo da Semidesintegração

Jogo da Semidesintegração Microsoft Internet Explorer

Retroceder Procurar Favoritos Ir para Norton Internet Security

Endereço: http://www.ualg.pt/UP-Algarve/testes/Fisica_Radacoes/Jogo/Jogosemides.html

Calcule o número de núcleos que ainda restam após cada período de semidesintegração

Quantidade de núcleos da substância radioactiva milhões de núcleos
 Período de semidesintegração dias

Ao fim de dias ainda temos milhões de núcleos de substância!

Ao fim de dias ainda temos milhões de núcleos de substância!

Ao fim de dias ainda temos milhões de núcleos de substância!

Ao fim de dias ainda temos milhões de núcleos de substância!

Ao fim de dias ainda temos milhões de núcleos de substância!

Ao fim de dias ainda temos milhões de núcleos de substância!

Ao fim de dias ainda temos milhões de núcleos de substância!

Concluído Internet

25. Página html – Física das Radiações – Jogo da Semidesintegração – jogo

Fisicas das radiações nos aeres vivos Microsoft Internet Explorer

Ficheiro Editar Ver Favoritos Ferramentas Ajuda

Endereço: http://www.ualg.pt/UP-Algarve/testes/Fisica_Radacoes/Pastes%20interiores/construcao.html

Para lembrar sempre que necessário....

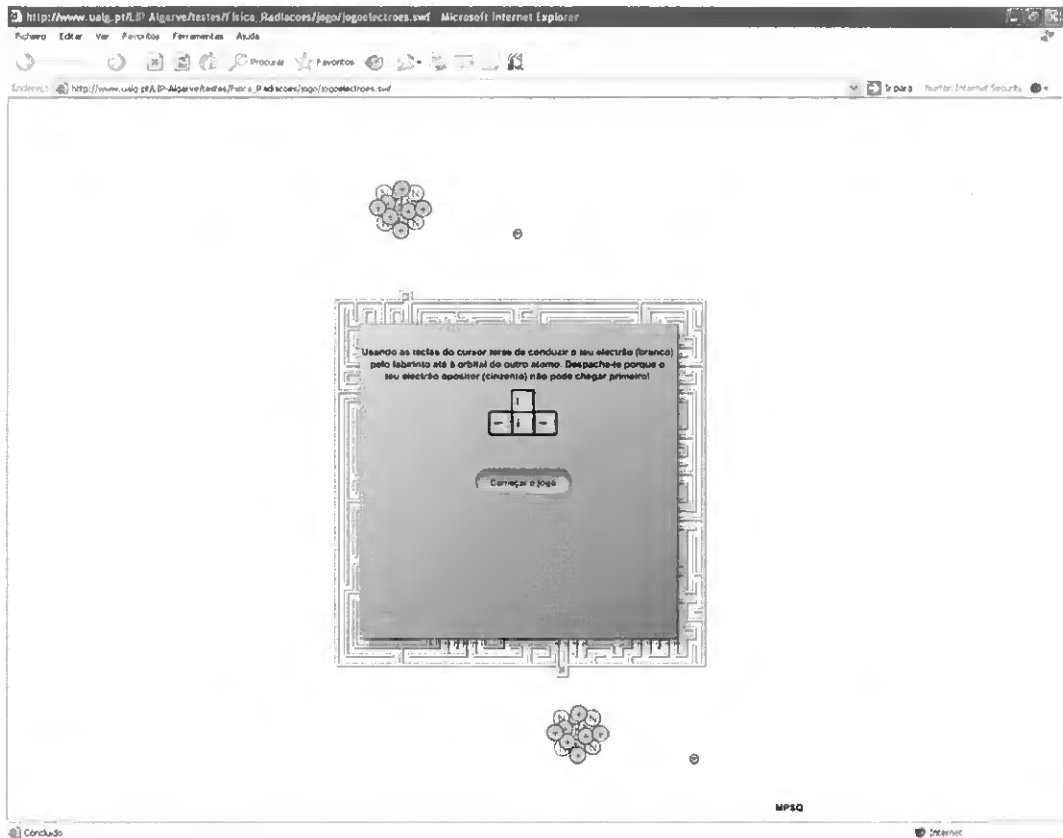
Como certamente já viste neste site, diferentes tipos de radiação conseguem atravessar diferentes materiais. Poderás criar o teu próprio guia de estudo se seguires as instruções seguintes:

1. Imprime e recorta a figura seguinte, rotulando também as partes a preto

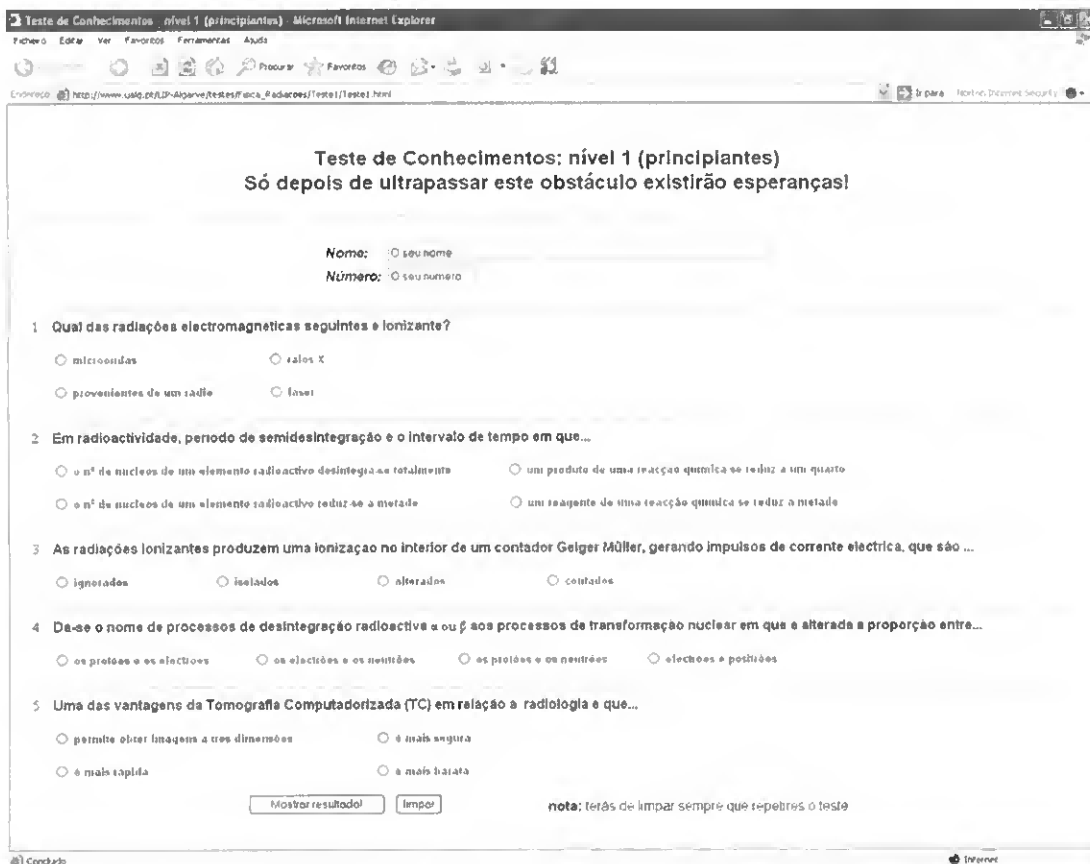
2. Imprime e recorta a figura seguinte

Concluído Internet

26. Página html – Física das Radiações – constrói o teu próprio modelo



27. Página html – Física das Radiações – Jogo da troca de electrões



28. Página html – Física das Radiações – Teste de conhecimentos nível 1

Teste de Conhecimentos: nível 2 (pré-cientistas) Microsoft Internet Explorer

Arquivo Editar Ver Favoritos Ferramentas Ajuda

http://www.uafp.pt/ASP/Apartir/testes/Fisica_Pedagogia/Teste2/Teste2.html

Teste de Conhecimentos: nível 2 (pré-cientistas)

Descubra se está preparado para um debate sobre radiações ionizantes!

Nome: seu nome
Número: seu número

- As radiações electromagnéticas poderão ser ionizantes ...
 - apenas se forem naturais
 - apenas se forem artificiais
 - quer sejam naturais ou artificiais
 - provenientes de um radio
- A radioactividade pode ser...
 - a responsável pelo aumento de CO na atmosfera
 - benéfica ou prejudicial
 - benéfica mas nunca prejudicial
 - prejudicial mas nunca benéfica
- Se o período de semidesintegração do cálcio - 45 e de 165 dias poderá dizer-se que ao fim de 165 dias o cálcio - 45 ...
 - desintegrou-se completamente
 - começa-se a desintegrar
 - esta reduzido a um quarto
 - esta reduzido a metade
- A radiação beta consegue atravessar...
 - uma folha de papel
 - uma folha de alumínio de 10 cm
 - uma parede de betão
 - uma folha de chumbo de 6 cm
- A técnica PET (Tomografia de Emissão de Positrões) tem como principal objectivo...
 - analisar os efeitos biológicos das radiações no corpo humano
 - detectar fracturas nos ossos
 - obter a imagem de um órgão a partir da radiação por ele emitida
 - a terapia oncológica

Mostrar resultado! limpar nota: terás de limpar sempre que repetires o teste

Concluído Internet

29. Página html – Física das Radiações – Teste de conhecimentos nível 2

Teste de Conhecimentos: nível 3 (Para verdadeiros cientistas!) Microsoft Internet Explorer

Arquivo Editar Ver Favoritos Ferramentas Ajuda

http://www.uafp.pt/ASP/Apartir/testes/Fisica_Pedagogia/Teste3/Teste3.html

Teste de Conhecimentos: nível 3 (Para quase cientistas!!)

Descubra se finalmente está preparado para discutir o tema com aptidão e destreza!

Nome: seu nome
Número: seu número

- Quando queremos medir as radiações, utilizamos por exemplo um ...
 - voltmetro
 - barómetro
 - contador Geiger Müller
 - um sonómetro
- O efeito fotoeléctrico é um processo de interacção entre um fóton e um átomo, com emissão de um electrão, em que o fóton...
 - muda de direcção
 - forma um par de partículas positrão/electrão
 - deixa de existir
 - forma um par de partículas positrão/neutrino
- O efeito Compton é um processo de interacção em que um fóton após colidir com um electrão orbital pouco ligado...
 - da origem a um novo fóton de menor energia
 - forma um par de partículas positrão/electrão
 - da origem a um novo fóton de maior energia
 - forma um par de partículas electrão/neutrino
- Produção de pares é um processo de interacção electromagnética em que o fóton interage com ...
 - um positrão
 - o núcleo do átomo
 - ele próprio
 - todos os electrões do átomo
- Qual a principal aplicação dos raios X na Medicina?
 - imagens funcionais
 - imagens estruturais
 - imagens dinâmicas
 - Datação arqueológica

Mostrar resultado! limpar nota: terás de limpar sempre que repetires o teste

Concluído Internet

30. Página html – Física das Radiações – Teste de conhecimentos nível 3

