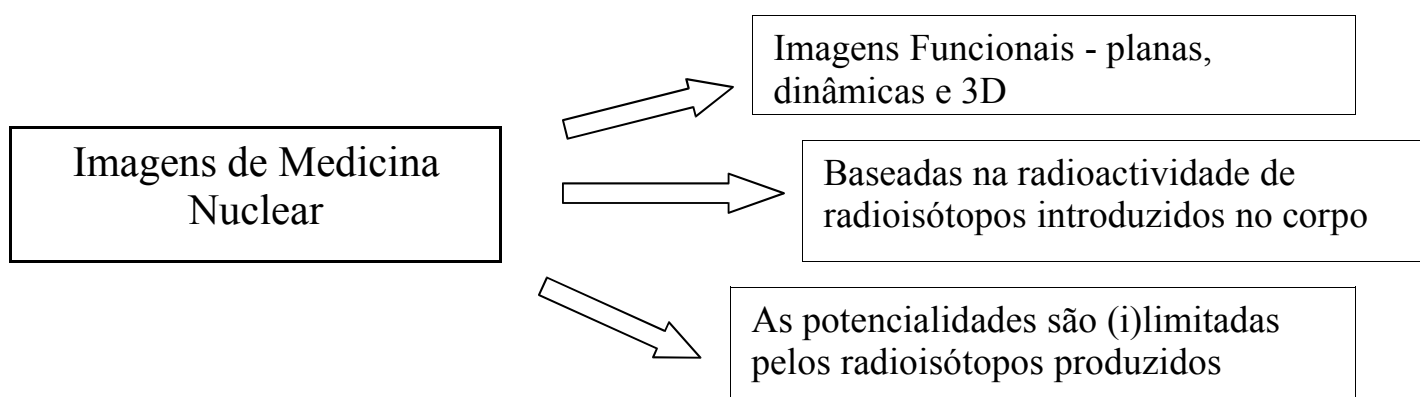


IMAGENS DE MEDICINA NUCLEAR



DECAIMENTO RADIOACTIVO

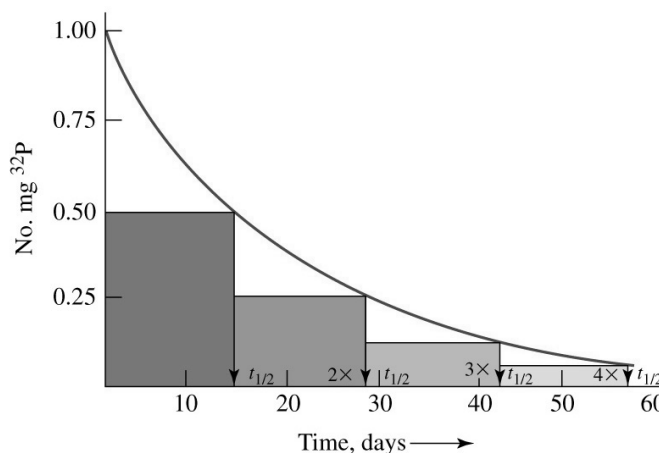
- A lei do decaimento radioactivo segue, como se sabe, uma função exponencial:

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



<http://serc.carleton.edu/quantskills/activities/popcorn.html> - 4/10/2006

- Define-se tempo de semi-vida como o tempo necessário para que o nº de núcleos radioactivos se reduza para metade:



$$t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$$

http://cwx.prenhall.com/petrucci/medialib/media_portfolio/26.html - 4/10/2006

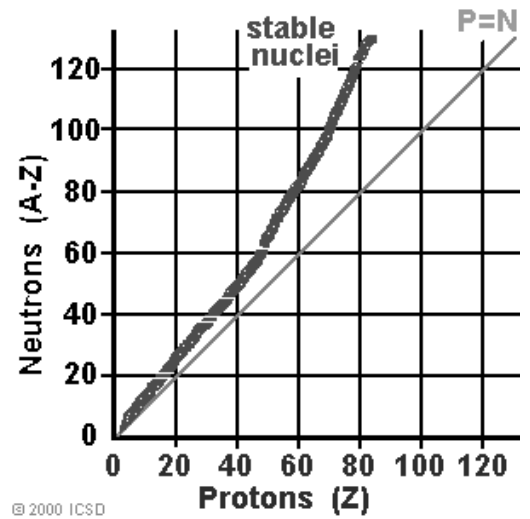
- E tempo de vida médio como o inverso da constante de decaimento:

$$\tau = 1 / \lambda$$

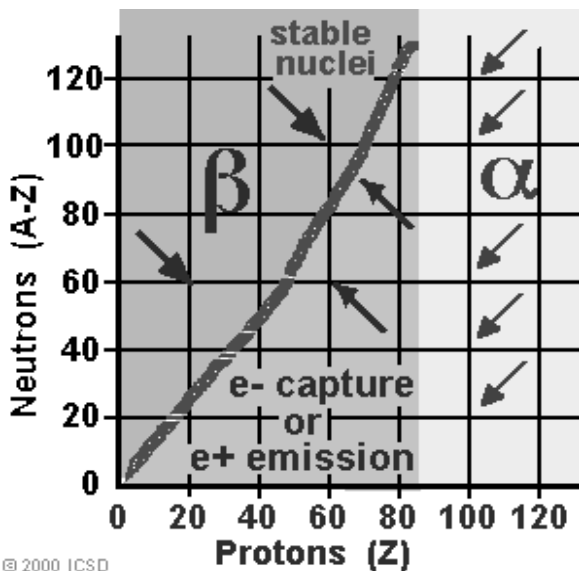
- A estabilidade dos núcleos depende da razão entre os prótons e os neutrões existentes no núcleo.

<http://ithacasciencezone.com/chemzone/lessons/11nuclear/nuclear.htm>

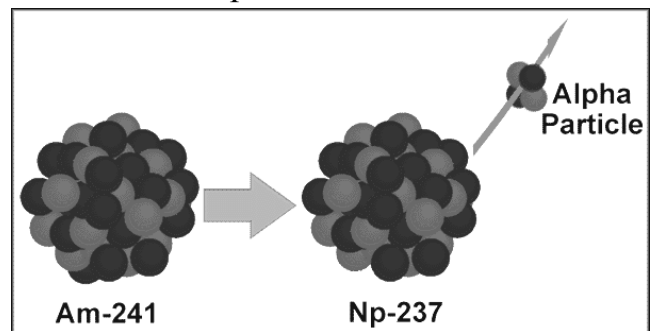
4/10/2006



- Como é também do conhecimento geral, podem considerar-se 5 tipos de decaimentos nucleares:
 - Libertação de partículas alfa, α , ocorre quando a instabilidade do núcleo se deve a um n° atómico demasiado elevado. Esta libertação origina a transformação de um elemento noutra.



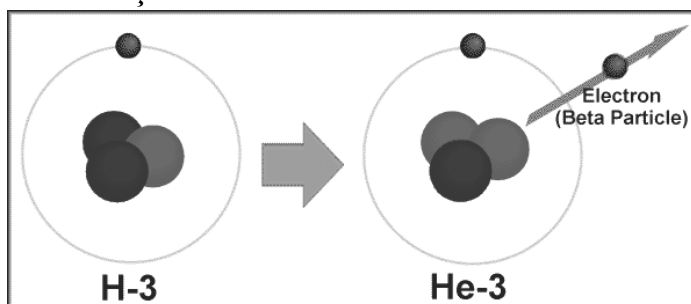
Relativamente ao gráfico da esquerda deve ter-se em atenção que existem excepções às tendências que ele ilustra...



http://library.thinkquest.org/3471/radiation_types_body.html - 4 de Outubro de 2006

<http://ithacasciencezone.com/chemzone/lessons/11nuclear/nuclear.htm> - 4 de Outubro de 2006

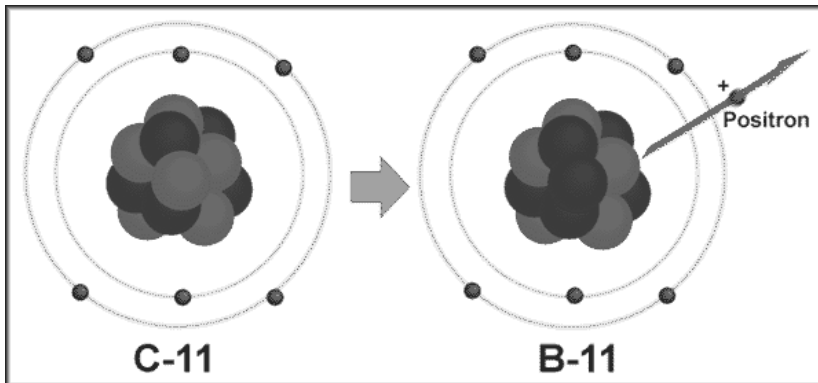
- Libertação de electrões, radiação β^- , ocorre quando a razão entre o n° de neutrões e o n° de prótons é demasiado elevada. Neste tipo de radiação um neutrão transforma-se num próton, dando origem a um novo elemento e à libertação de um electrão



http://library.thinkquest.org/3471/radiation_types_body.html - 4 de Outubro de 2006

Refira-se que neste tipo de decaimento existe também libertação de um neutrino (partícula sem massa que interage fracamente com a matéria).

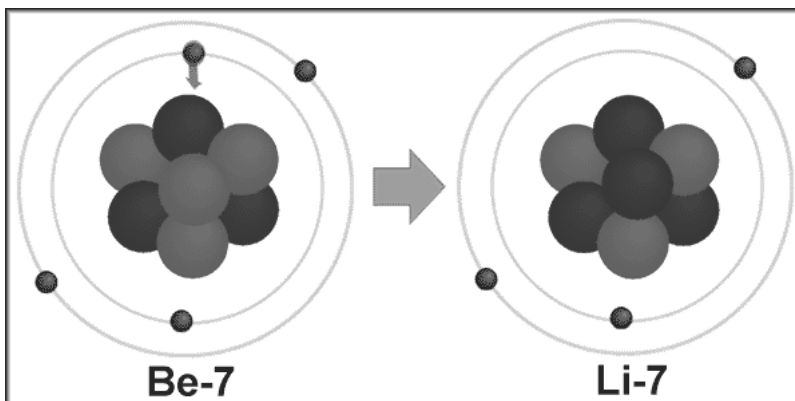
- Liberação de positrões, radiação β^+ , ocorre quando a razão entre o n° de neutrões e o n° de prótons é pequena demais. Um próton transforma-se num neutrão e liberta um positrão:



http://library.thinkquest.org/3471/radiation_types_body.html - 4 de Outubro de 2006

Neste tipo de decaimento existe também liberação de um anti-neutrino.

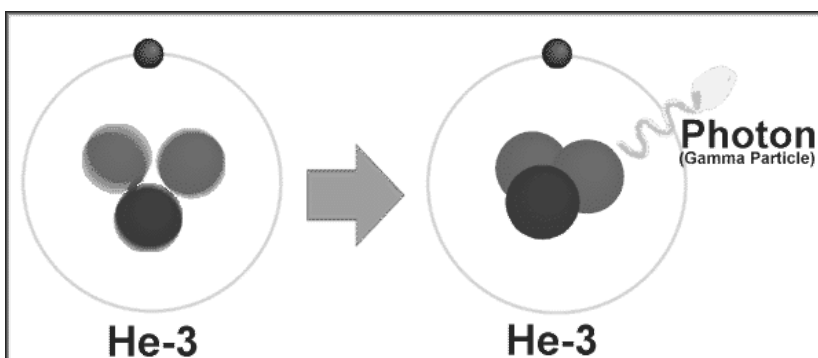
- Captura electrónica, que ocorre na mesma situação que a radiação β^+ . Um próton transforma-se num neutrão, após captura de um electrão:



http://library.thinkquest.org/3471/radiation_types_body.html - 4 de Outubro de 2006

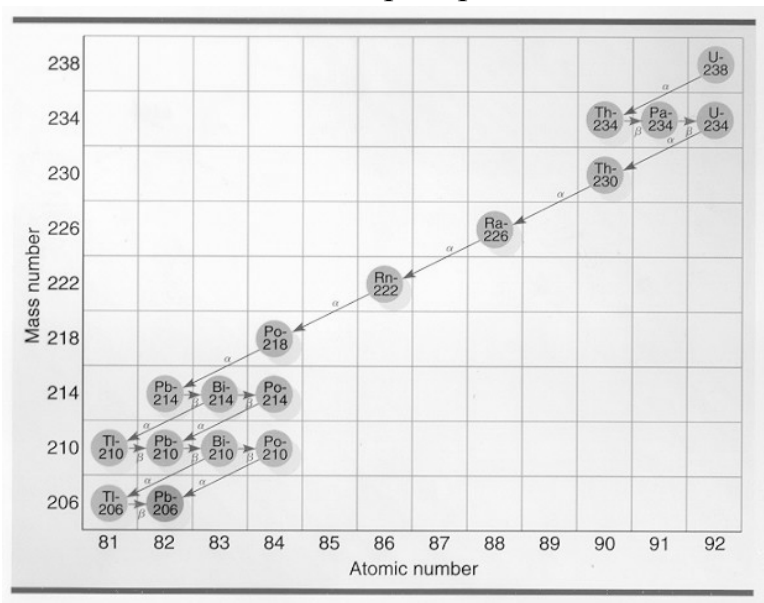
Neste tipo de decaimento existe também liberação de raios-X, uma vez que a captura de um electrão, envolve o rearranjo electrónico, com passagem de electrões de camadas mais externas para camadas mais internas e consequente liberação de radiação-X.

- Liberação de radiação gama, γ . Ocorre quando o núcleo se encontra num nível energético demasiado elevado.



http://library.thinkquest.org/3471/radiation_types_body.html - 4 de Outubro de 2006

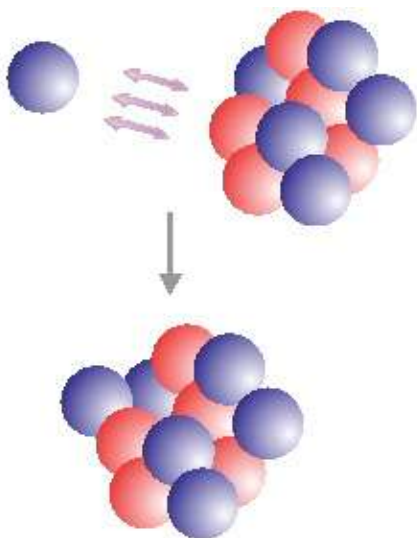
- Em geral, estes decaimentos não ocorrem isoladamente, fazendo parte de uma série, como no exemplo apresentado:



<http://library.tedankara.k12.tr/chemistry/vol1/nucchem/trans90.htm>, - 4 de Outubro de 2006

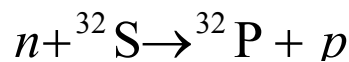
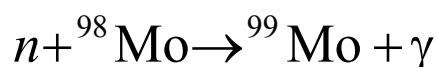
CRIAÇÃO DE RADIONUCLÍDOS

- Existem diversos mecanismos de produção de radionuclídeos:
 - Captura de neutrões - pode envolver a transformação de um isótopo noutro (o elemento mantém-se) com libertação de radiação γ ou a transformação de um isótopo de um elemento, num isótopo de outro elemento, com libertação de prótons. Os isótopos assim produzidos, decaem, habitualmente, através de radiação β^- .



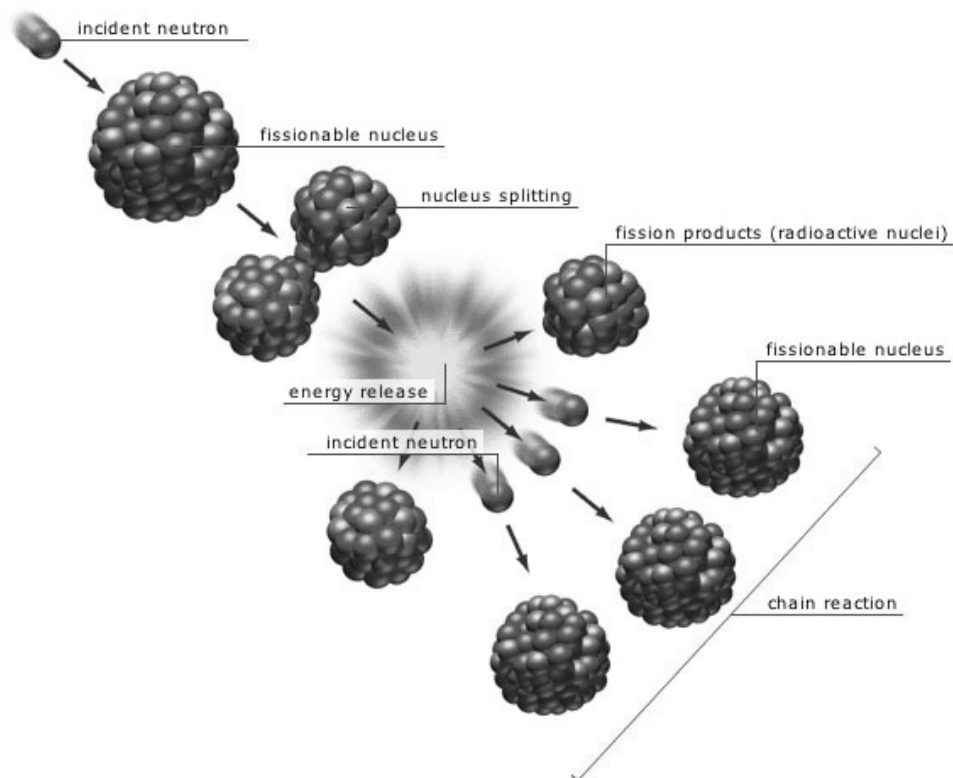
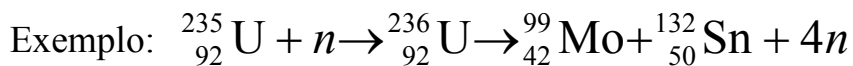
Legenda: as esferas azuis representam neutrões as vermelhas prótons.

Exemplos:



http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/sun/Solar_interior/Nuclear_Reactions/Fusion/Fusion_in_stars/ncapture.html&edu=high - 4 de Outubro de 2006

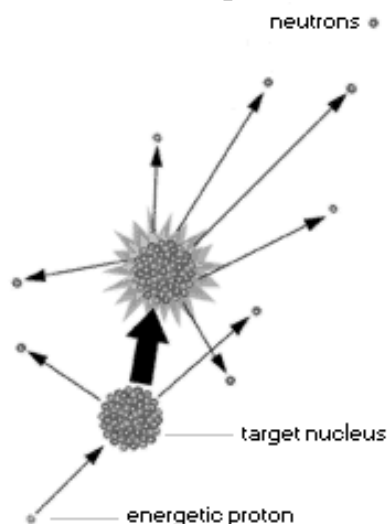
- Na fissão nuclear há, também, captura de neutrões, mas a instabilidade do núcleo é de tal forma elevada que este se divide em dois, libertando energia e, geralmente, alguns neutrões.



© 2004 QA International. All rights reserved.

- No bombardeamento com partículas carregadas, as quais podem ser partículas alfa ou prótons, existe mudança de elemento.

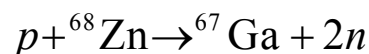
4 de



<http://www.bnl.gov/bnlweb/SNS/workings.html>

Outubro de 2006

Exemplos:



- O gerador de radionuclídeos é um mecanismo através do qual, a partir de um isótopo radioativo 'pai' (fonte) surge um isótopo radioativo 'filho'. O isótopo 'pai' tem um tempo de vida superior e está continuamente a decair para o isótopo 'filho', que é aquele que apresenta actividade relevante para determinada aplicação.

- Um importante tema de investigação em Medicina Nuclear é todo o processo bioquímico de escolha do radioisótopo e do radiofármaco e a sua posterior ligação. Neste contexto, é necessário ter-se em conta os exigentes critérios a que estes devem obedecer:
 - A vida média do radioisótopo deve ser maior do que o tempo necessário para a aquisição da imagem, mas não demasiadamente longa, de modo a evitar que os resíduos que se mantêm no organismo depois do exame continuem activos.
 - Tendo em conta a capacidade de penetração das diferentes radiações nucleares, no caso das imagens, deve ser utilizada radiação γ .
 - A ligação entre radionuclido e fármaco deve ser eficiente e que o composto assim formado (radiofármaco) deve ser reconhecido pelo organismo como uma substância associada a determinada função.
 - A energia da radiação deve ser suficientemente elevada para não ser demasiado atenuada e suficientemente baixa para que os danos provocados sejam mínimos.
 - Para evitar os efeitos tóxicos no organismo, é necessário que pequenas quantidades de radiofármaco apresentem a actividade necessária à formação da imagem. (Geralmente, utiliza-se massas na ordem dos nanogramas).
- Nas tabelas seguintes encontram-se a vida média e a energia da radiação de radionuclidos produzidos por diferentes técnicas e com aplicações à Medicina.

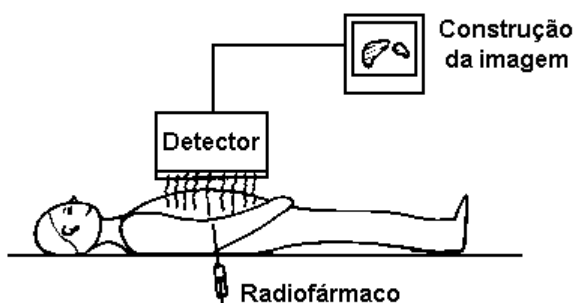
Isótopo	Energia da radiação γ	Vida média
Por absorção de neutrões		
^{51}Cr	320	27.2 d
^{59}Fe	1099	44.5 d
^{99}Mo	740	66.02 h
^{131}I	364	8.05 d
Por fissão nuclear		
^{99}Mo	740	66.02 h
^{131}I	364	8.05 d
^{133}Xe	81	5.27 d
^{137}Cs	662	30 a
Por bombardeamento de partículas carregadas		
^{11}C	511 (β^+)	20.4 min
^{13}N	511 (β^+)	9.96 min
^{15}O	511 (β^+)	2.07 min
^{18}F	511 (β^+)	109.7 min
^{67}Ga	93	78.3 h
^{111}In	171	67.9 h
^{123}I	159	13 h
^{201}Tl	68-80.3	73 h

Isótopo 'pai'	Vida média	Modo de decaimento	Isótopo 'filho'	Vida média	Modo de decaimento	Energia da rad. γ (keV)
^{99}Mo	2.7 d	β^-	$^{99}\text{Tc}^m$	6 h	conv. int.	140
^{82}Sr	25 d	cap. elec.	^{82}Rb	1.3 min	cap. elec.	777
					β^+	511
^{68}Ge	280 d	cap. elec.	^{68}Ga	68 min	cap. elec.	
					β^+	511
^{52}Fe	8.2 h	cap. elec.	$^{52}\text{Mn}^m$	21 min	cap. elec.	
		β^+			β^+	511
					conv. int.	
^{81}Rb	4.7 h	cap. elec.	$^{81}\text{Kr}^m$	13 s	conv. int.	190
^{62}Zn	9.1 h	cap. elec.	^{62}Cu	9.8 min	cap. elec.	
		β^+			β^+	511
^{178}W	21.5 d	cap. elec.	^{178}Ta	9.5 min	cap. elec.	93

(The Physics of Medical Imaging, 1991)

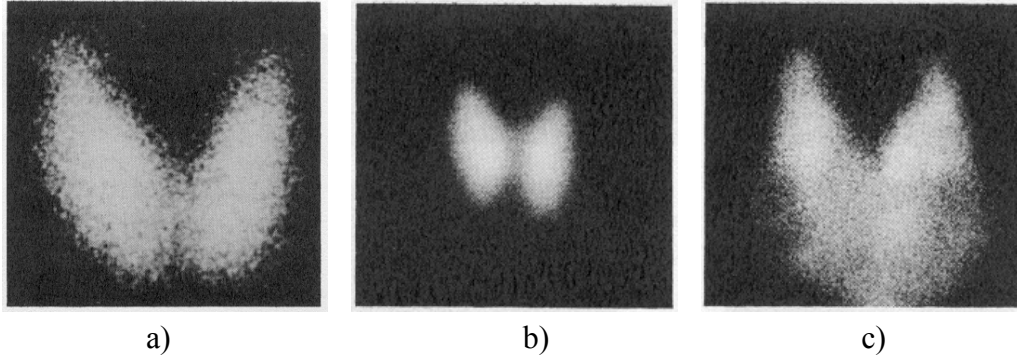
FORMAÇÃO DE IMAGENS

- As imagens de Medicina Nuclear são obtidas através da medição da actividade dos radiofármacos que foram introduzidos no organismo por injeção ou inalação.



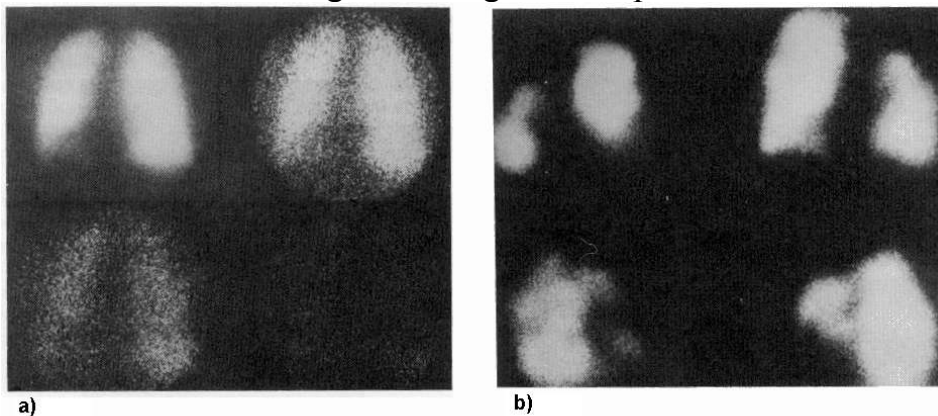
- Existem vários factores a ter em conta, neste tipo de imagem:
 - Escolha do colimador - dependente das dimensões do órgão a analisar e da resolução pretendida.
 - A janela energética - adequada à radiação emitida.
 - Tempo de espera - deve garantir-se que, no início da aquisição, o radiofármaco está disseminado no organismo de forma adequada.
 - Nº de ângulos considerados - quer para imagens planares, quer para reconstrução tri-dimensional, deve escolher-se quantas imagens 2D se adquire.
 - Imobilização do doente - evitar movimentos que venham a degradar a qualidade da imagem

- Nas imagens bi-dimensionais estáticas, a actividade do órgão é medida, detectando-se alterações relativamente à normalidade. Os estudos podem ser qualitativos ou quantitativos (medição de actividade, de volumes, etc.)



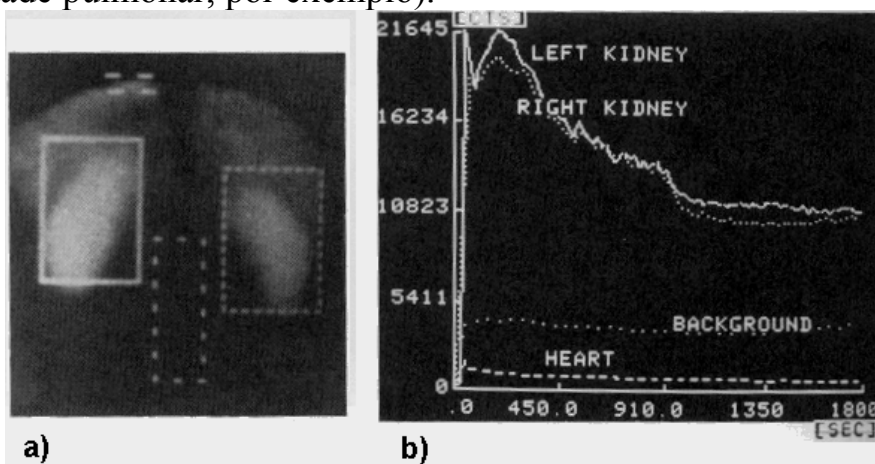
Actividade da tiróide de a) um indivíduo saudável; b) um doente de Grave e c) um doente de Plummer.

- Nas imagens dinâmicas as imagens são feitas em diversos instantes, permitindo o estudo da actividade do órgão ao longo do tempo.



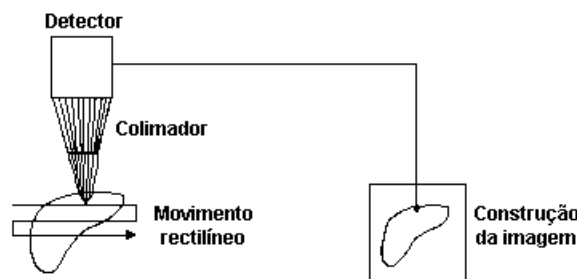
Imagens pulmonares dinâmicas de a) ventilação (quando o radiofármaco é inalado) e de b) perfusão (quando o radiofármaco é injectado) de um doente com embolia pulmonar.

- Neste tipo de imagens, podemos seguir a actividade de um órgão no seu ciclo (coração, por exemplo) ou à sua actividade ao longo do tempo (excreção urinária ou actividade pulmonar, por exemplo).

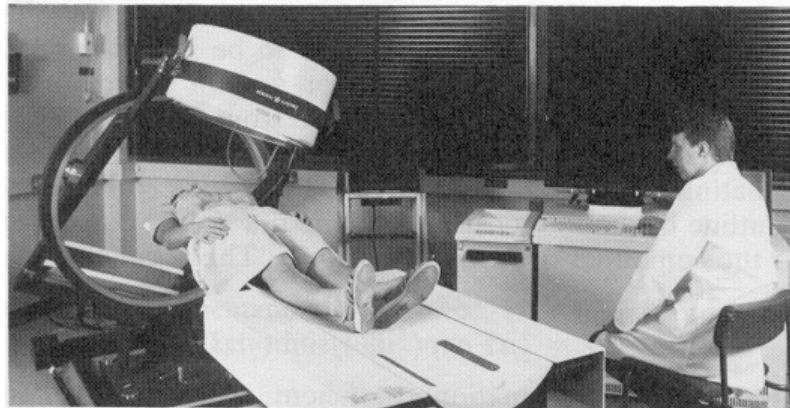


a) Imagem dos dois rins de um doente, b) curvas correspondentes à actividade de cada um dos rins ao longo do tempo.

- No que toca ao equipamento utilizado atente-se nas seguintes considerações:
 - Os detectores devem estar adequados à gama de energia utilizada (entre 50keV e 1MeV). A radiação que chega ao detector só é considerada quando a sua energia corresponde aos valores da janela considerada.
 - Os detectores utilizados são: contadores proporcionais, cintiladores (ainda são os mais utilizados) e semi-condutores (espera-se que venham a substituir os cintiladores, quando se tornarem mais baratos).
 - Os primeiros *scanners* que se construíram usavam um cristal cintilador (NaI(Tl)) de cerca de 12.5 cm de diâmetro. O sistema utilizava um colimador em forma de cone que recebia informação proveniente apenas de um ponto. A resolução era de cerca de 1 cm a 10 cm de profundidade.



- Seguiram-se sistemas onde parte do movimento foi substituído por uma cabeça rectilínea com um ou vários cristais e, mais tarde, por um cristal com fotomultiplicadores sensíveis à posição - a câmara gama.

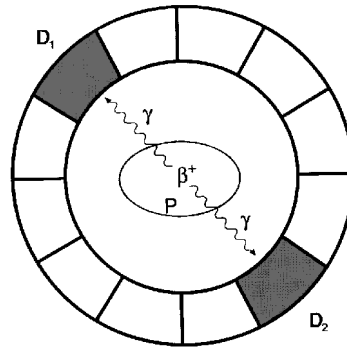


- Os colimadores utilizados, tal como acontecia com as imagens de raios-X, são de extrema importância e devem ser escolhidos com base no equilíbrio entre a resolução pretendida e a eficiência.
- Os colimadores podem, uma vez mais, ser paralelos; do tipo *pinhole*, quando se pretende obter uma imagem de um objecto pequeno; convergente, apresenta as melhores resolução e sensibilidade, à custa da diminuição do campo de visão e de alguma distorção na imagem e divergente, quando o objecto tem dimensões elevadas.

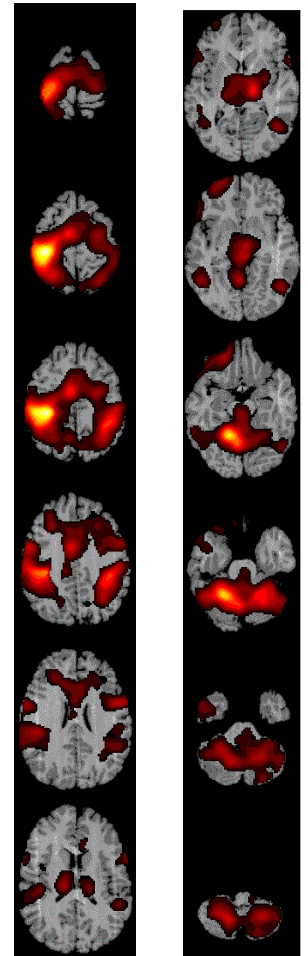
IMAGENS TOMOGRÁFICAS

- Existem dois tipos de tomografia em Medicina Nuclear: a Tomografia de Emissão de Fóton Único (SPECT - Single Photon Emission Computerised Tomography) e a Tomografia de Emissão de Positrões (PET - Positron Emission Tomography).
- As Tomografias de Emissão de Fóton Único são reconstruções tridimensionais obtidas através de várias medições de actividade de radiação gama, em torno do doente.
- Parâmetros a ter em conta na aquisição de uma SPECT:
 - Escolha do colimador. Tendo em conta a resolução, a eficiência e o tamanho do órgão em estudo.
 - Escolha do raio de rotação. Quanto menor o raio, melhor a imagem.
 - Escolha da janela energética - depende do isótopo utilizado.
 - Nº de planos a adquirir - equilíbrio qualidade da imagem/consumo de tempo.
 - Tempo de aquisição de cada plano - quanto mais tempo, melhor a estatística. Porém está limitado pela actividade do radioisótopo e pela ocorrência de movimentos.
 - Nível de dose administrada - equilíbrio entre a estatística da imagem e os riscos para o doente.
- Parâmetros a manipular após a aquisição das imagens de SPECT:
 - Correção da uniformidade - o colimador e o cristal podem não ser uniformes, para corrigir este efeito, sujeita-se o sistema a uma fonte conhecida e procede-se à correção posterior.
 - Correção mecânica do centro de rotação - procedimento de controlo a executar esporadicamente.
 - Escolha adequada dos filtros digitais a aplicar as imagens.
 - Utilização de um bom algoritmo de reconstrução.
 - Correção da atenuação sofrida pela radiação ao atravessar o corpo.
- Tarefas desempenhadas pelos computadores em todo o processo:
 - Controlo da aquisição dos dados.
 - Correção dos dados *on-line* - ganho dos fotomultiplicadores e correção de heterogeneidades, por exemplo.
 - Processamento de dados - reconstrução da imagem; filtragem da imagem; escolha de regiões de interesse e construção de curvas de actividade em função do tempo; manipulação da imagem, tal como rotação, amplificação; subtração, etc.

- Apresentação e manipulação da imagem - escolha das escalas de cor (ou tons de cinzento), escolha do nº de pixels, etc.
 - Gravação das imagens.
 - Controlo mecânico do sistema - posição da câmara e do doente.
- As Tomografias de Emissão de Positrões são reconstruções tridimensionais obtidas através de várias medições de actividade proveniente de decaimento β^+ e consequente libertação de dois fótons de 511 keV antiparalelos.



- Neste tipo de tomografia o doente é envolvido por um anel de detectores ligados electronicamente, por forma a observar coincidências.
- A natureza destas imagens confere-lhes maior resolução do que a associada à SPECT.
- Importância do ^{18}F que permite imagens da actividade da glucose, nomeadamente, da actividade cerebral. Nestes estudos, usa-se uma técnica de subtracção das imagens em duas tarefas distintas: a que está em estudo e a de controlo, para se obter informação sobre as áreas activas.



Imagens de PET que localizam actividade associada à seguinte tarefa: os indivíduos apalparam dois pequenos paralelepípedos e reconhecem qual dos dois é mais oblongo (gentileza de R. Almeida)