

# Identificação de materiais radioativos pelo método de espectrometria de fótons com detector cintilador

## 1. Introdução

Identificar um material ou agente radiológico é de grande importância para as diversas atividades envolvendo o uso de radiações ionizantes. Conhecendo o material é possível definir a maneira adequada de manuseá-lo pois saberemos o tipo de radiação que ele emite, bem como sua forma física e química, seu tempo de meia-vida ( $T_{1/2}$ ) entre as informações importantes. A identificação destes materiais é feita através da análise e determinação do espectro de energia discreta que o material radioativo é capaz de emitir. Na grande maioria das vezes, este espectro de energia é obtida através da técnica de espectrometria de fótons podendo ser utilizados detectores semicondutores ou cintiladores inorgânicos.

Aqui analisaremos a utilização de detectores cintiladores para a realização da técnica de espectrometria de fótons. O motivo desta escolha é em função destes detectores poderem trabalhar a temperatura ambiente, terem alta eficiência de detecção, uma resolução que propícia a identificação em instalações abertas e poderem ser construídos de forma compacta, portátil e transportável para uso em diversos ambientes.

Os identificadores radiológicos portáteis são largamente utilizados para diversos fins como:

- Segurança radiológica em grandes eventos;
- Busca de fontes radioativas extraviadas;
- Avaliação:
  - de emergências radiológicas;
  - de emergências nucleares;
  - cargas em portos, aeroportos e fronteira.

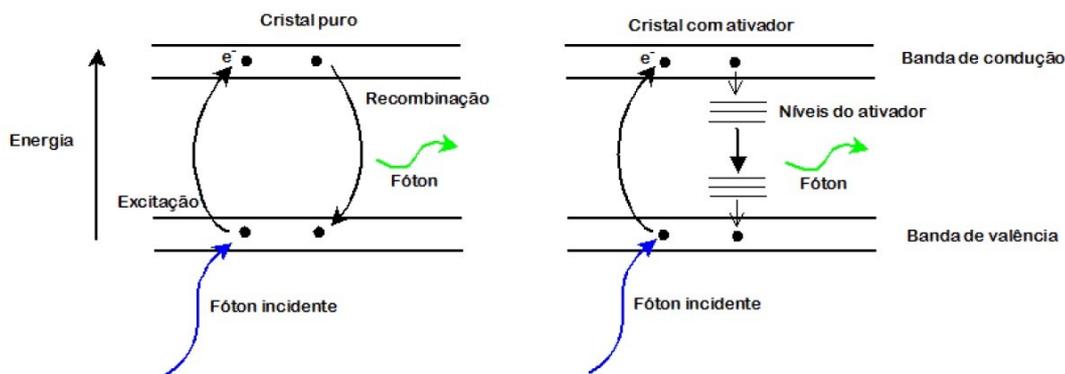
## 2. Propriedade dos cintiladores inorgânicos

A detecção de radiações ionizantes pela cintilação, produzida em determinados materiais, é uma das técnicas mais antigas registradas. Detectores baseados nestes materiais possuem elevada eficiência de cintilação, conversão linear da quantidade de energia em luz, tempo de decaimento da luminescência curto para a geração rápida de pulsos, meio transparente e índice de refração próximo ao do vidro permitindo o acoplamento do cristal com o tubo fotomultiplicador (Knoll, 2000).

O mecanismo de cintilação em materiais inorgânicos depende dos estados de energia da rede cristalina do material. Num cristal cintilador puro, a energia da radiação incidente absorvida é cedida aos elétrons da banda de valência, sendo estes excitados para a banda de condução. Entre essas bandas existe uma faixa intermediária de energia chamada de banda proibida, na qual não há estados possíveis e, portanto, não se

encontram elétrons. O retorno do elétron para a banda de valência com a emissão de um fóton representa um processo ineficiente de cintilação, pois as diferenças energéticas são tais que o fóton resultante possui uma energia muito alta e não se enquadra na faixa do visível. Como resultado desse processo, o cristal apresenta-se opaco à sua radiação de cintilação (Lima, 2006).

A adição de pequenas quantidades de impurezas ou material ativador (no caso do NaI é usado o Tálcio) cria níveis de energia na banda proibida. Criados pelo elemento ativador na banda proibida, eles permitem a desexcitação de um elétron da banda de condução para a banda de valência, com a emissão de fótons com comprimento de onda (410 nm), o que corresponde à luz do espectro visível. O cristal é basicamente transparente para esses fótons, que assim alcançam o fotocátodo do tubo fotomultiplicador, que possui boa sensibilidade à cintilação dessa luz visível (Lima, 2006).



### 2.1. Resolução em energia

Relaciona-se com a capacidade do detector de cintilação em discriminar a energia de dois fótons emitidos com energias diferentes em seu volume útil. A resolução de um detector é determinante em sua capacidade de medir a distribuição de energia da radiação incidente e é convencionalmente definida como a razão entre a largura à meia altura do pico (FWHM) e o valor do canal central da distribuição do pico ( $H_0$ ).

A resolução em energia típica de detectores cintiladores inorgânicos cilíndricos de NaI(Tl) para a energia do fóton gama emitido por uma fonte de  $^{137}\text{Cs}$  (661,62 keV) é cerca de 6 a 7%.

### 2.2. Eficiência de detecção

Caracteriza a capacidade do detector em registrar os fótons emitidos por uma fonte de radiação ou que incidem na superfície de um detector. O tamanho e a forma do cristal influenciam a eficiência de detecção, sendo que a espessura do cristal cintilador na direção da trajetória do fóton incidente tem maior influência. A eficiência de um detector pode ser classificada como absoluta e intrínseca.

A eficiência absoluta é dada pela razão entre o número de partículas ou fótons detectados e o número de partículas ou fótons emitidos pela fonte de radiação. Esta eficiência sofre influência da geometria de medição utilizada.

A eficiência intrínseca é dada pela razão entre o número de partículas ou fótons detectados e o número de partículas ou fótons incidentes no detector. Diferente da eficiência absoluta, não sofre influência da geometria de medição utilizada, mas da

dimensão da face do detector em que a radiação incide.

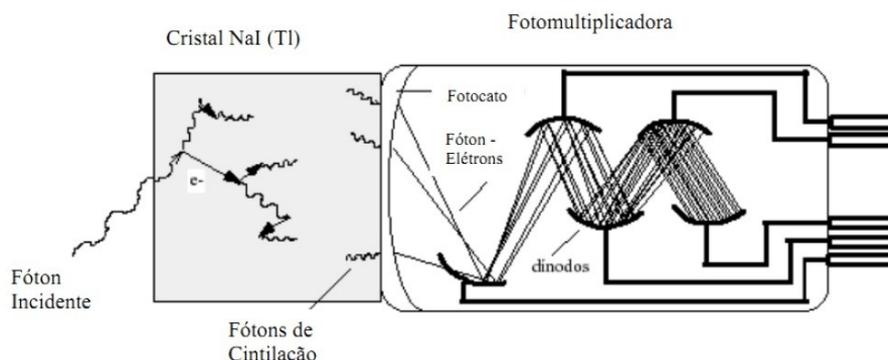
### 2.3. Detectores cintiladores de NaI(Tl)

Em 1948, Robert Hofstadter demonstrou que o cristal de iodeto de sódio (NaI), com tálio (Tl) como elemento ativador, produz emissão de luz de cintilação excepcionalmente intensa em comparação com os materiais orgânicos que já haviam sido estudados. Mais do que qualquer outro evento, tal descoberta inaugurou a era moderna da espectrometria por cintilação da radiação eletromagnética ionizante com energia discreta, sendo este cristal de cintilação ainda hoje frequentemente usado em espectrometria de fótons, apesar de décadas de pesquisas subsequentes com outros materiais de cintilação. (Knoll, 2000)

O número atômico relativamente alto do iodo ( $Z=53$ ) e a massa específica do cristal ( $3,667 \text{ g/cm}^3$ ) influenciam de forma significativa o efeito de absorção fotoelétrica, necessário para a máxima deposição de energia da radiação incidente, dando a este cristal boa eficiência de cintilação. A resposta em intensidade luminosa do cristal de NaI(Tl) é razoavelmente linear com a energia do elétron depositado, havendo uma pequena não proporcionalidade na faixa de 10 – 100 keV. Esta proporcionalidade permite relacionar a energia absorvida pelo cristal com a amplitude do sinal de corrente obtido com o detector, que por sua vez, está relacionado com a energia do fóton incidente.

O cristal de NaI(Tl) é higroscópico devendo ser mantido hermeticamente fechado revestido por material refletor, exceto na superfície do fotocato do tubo fotomultiplicador, reduzindo assim as perdas por reflexão e absorção nas superfícies laterais do cristal. Suas dimensões e forma influenciam na eficiência de cintilação para a função resposta do detector.

Nos detectores cintiladores de NaI(Tl), a cintilação produzida pela passagem de radiação ionizante precisa ser convertida em sinais elétricos para que se possa medir a energia depositada. Para tal, há a necessidade da presença do tubo fotomultiplicador. A estrutura básica de um tubo fotomultiplicador é apresentada na figura abaixo.



### 3. Espectrometria de fótons com cintilador

Os fótons não possuem carga ou massa sendo, portanto, radiação indiretamente ionizante e capaz de transferir toda ou parte de sua energia para os elétrons orbitais dos átomos do material. Esses elétrons têm energia máxima igual à energia do fóton incidente subtraída da sua energia de ligação e que depositarão essa energia por meio de ionizações e excitações no meio de interação.

Para que um material possa ser utilizado como detector e servir para a realização de espectrometria de energia para fótons, ele deve ser capaz de realizar a transferência de energia desses fótons para elétrons orbitais dos átomos da estrutura e funcionar como elemento de detecção dos elétrons secundários produzidos pelos fótons incidentes por meio da coleta dos elétrons liberados na ionização dos átomos do meio.

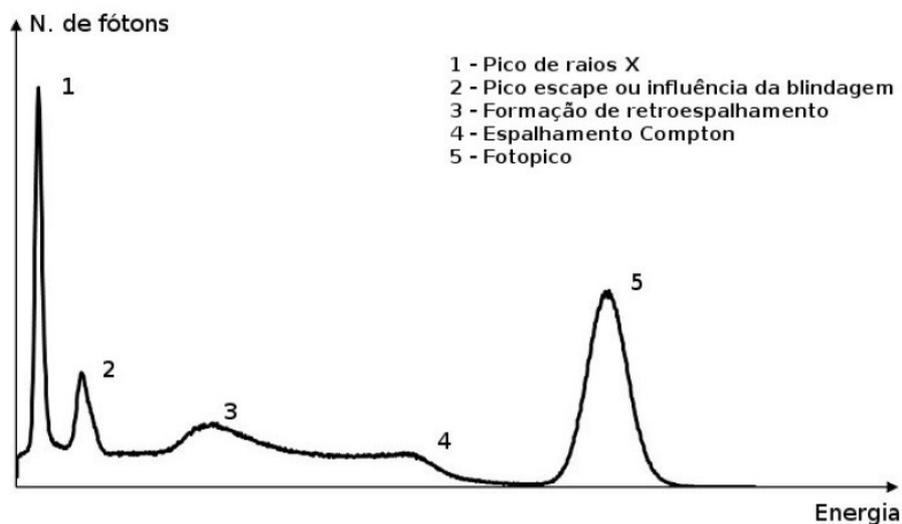
### 3.1. Resposta de detectores para as energias dos fótons incidentes

O espectro de energia de fótons de radiação gama ou raios X irá depender do tamanho, da forma, da composição do detector e também da geometria de irradiação. Para espectros de fótons com baixa energia, a função resposta do detector será influenciada pelo espalhamento Compton (componente contínuo) e pela interação por efeito fotoelétrico (componente discreto).

A função resposta do detector para o espectro de energia dos fótons incidentes, também pode ser afetada, tanto em seu componente contínuo quanto no componente discreto da função resposta do espectro de energia dos fótons incidentes em virtude dos seguintes mecanismos (Lima, 2006):

- Formação de pico escape por elétrons secundários;
- Ocorrência de *bremstrahlung*;
- Presença de raios X característicos e
- Interações secundárias criadas por decaimento radioativo, como a influência dos materiais envoltórios.

A Figura abaixo apresenta o espectro decorrente de fótons com uma única energia esperado para um detector real onde os processos de interação citados acima estão representados.



Os detectores para serem usados em espectrometria são normalmente envolvidos por outro material, seja o material de seu encapsulamento, blindagem para redução de radiação de fundo (*background*) ou uso de colimadores na geometria de medição. Estes materiais podem ser fontes potenciais de radiação secundária e, se esta interagir com o detector, pode influenciar na forma da sua função resposta do espectro (Lima, 2006).

O pico escape dos raios X característico se forma quando a absorção fotoelétrica ocorre próximo à superfície do detector, podendo ocorrer o escape do raio X característico gerado. Um novo pico surge na função resposta separado do fotopico, por

uma diferença de energia igual a dos raios X característicos que escaparam.

Nos detectores cintiladores com cristal de NaI(Tl), ocorre a emissão de 2 (dois) raios X característicos em função da presença do iodo (I) no cristal. Estes raios X característicos possuem a energia de 28,6 keV ( $K_{\alpha}$ ) e 33,2 keV ( $K_{\beta}$ ) (Preedy et al, 2009). Normalmente, estas energias são absorvidas pelo cristal. Entretanto, se a energia do fóton incidente é baixa, a interação ocorre próximo à superfície do cristal e este fóton escapa. Como resultado, no espectro de função resposta do detector a uma fonte monoenergética com energia na faixa utilizada em raios X para diagnóstico, aparecerá um pico cuja energia corresponde à energia do fóton incidente menos a energia dos raios X característico do iodo, que normalmente são representadas no espectro como um único pico com energia média em torno de 28 keV, chamado pico escape do iodo.

Os detectores para serem usados em espectrometria são normalmente envolvidos por outro material, seja o material de seu encapsulamento, blindagem para redução de radiação de fundo (*background*) ou uso de colimadores na geometria de medição. Estes materiais podem ser fontes potenciais de radiação secundária e, se esta interagir com o detector, pode influenciar na forma da sua função resposta do espectro (Lima, 2006).

#### 4. Outras tecnologias de cintiladores

Cintiladores com melhor resolução, como o brometo de lantânio, possuem FWHM menores resultando em fotopicos mais estreitos e, desta forma, possibilitam a discriminação de um maior número de energias e conseqüentemente uma melhor identificação de materiais radioativos.

Os cintiladores de brometo de lantânio ( $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ ) possuem uma resolução em energia significativamente melhor se comparado aos cintiladores de NaI(Tl). A resolução alcançada pelo cintilador de  $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$  para o fotopico da radiação gama emitida por uma fonte de  $^{137}\text{Cs}$  é de 2,7%, muito melhor que em um NaI(Tl) que possui uma resolução típica de 7% para esta energia.

Também em energias mais baixas e compatíveis com a faixa utilizada em radiologia diagnóstica como as dos fotopicos gama de 122,1 keV e 136,4 keV emitidos por uma fonte de  $^{57}\text{Co}$  há ganhos expressivos. A resolução do cintilador de  $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$  para o fotopico do gama de 122,1 keV é de 5,7%. A resolução dos cintiladores de NaI(Tl) não permite dissociar, no espectro obtido, os fotopicos das energias de 122,1 e 136,4 keV emitidos pela fonte de  $^{57}\text{Co}$ , eles são representados como um único fotopico (Fiorini, 2006).

#### 5. Referência bibliográfica

FIORINI, C. et al, 2006, "Gamma-Ray Spectroscopy with  $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$  Scintillator Readout by a Silicon Drift Detector", IEE Transaction on Nuclear Science, Vol 53, nº4, August.

KNOLL, G. F., 2000, Radiation Detection and Measurement – 3ª edição, Ed. John Wiley&Sons Inc. , USA.

LIMA, C. A., 2006, Avaliação da Performance de Detectores Iodeto de Sódio NaI(Tl) em Centrais Nucleares – dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ, RJ.

PREEDY, V. R., BURROW, G. N., WATSON, R. R., 2009, Comprehensive Handbook of Iodine Nutricional, Biochemical, Pathological and Therapeutic Aspects – Ed. Elsevier Inc. , San Diego – USA.