



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE MARABÁ  
FACULDADE DE FÍSICA

**A IMPORTÂNCIA DA TOMOGRAFIA POR EMISSÃO DE PÓSITRONS**

LÚCIO ALVES PINTO JUNIOR

Marabá/PA  
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE MARABÁ  
FACULDADE DE FÍSICA

**A IMPORTÂNCIA DA TOMOGRAFIA POR EMISSÃO DE PÓSITRONS**

Lúcio Alves Pinto Junior  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fernanda Carla Lima Ferreira

Marabá/PA  
2015

LÚCIO ALVES PINTO JUNIOR

**A IMPORTÂNCIA DA TOMOGRAFIA POR EMISSÃO DE PÓSITRONS**

Trabalho de conclusão de curso submetido à faculdade de Física da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará– UNIFESSPA para obtenção de Grau de Licenciado em Física.

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Fernanda Carla Lima Ferreira

Marabá/PA  
2015

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA**

---

Pinto Junior, Lúcio Alves

A importância da tomografia por emissão de pósitrons / Lúcio Alves Pinto Junior ; orientadora, Fernanda Carla Lima Ferreira. — 2015.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Ciências Exatas, Faculdade de Física, Curso de Licenciatura em Física, Marabá, 2015.

1. Tomografia por emissão de pósitrons. 2. Diagnóstico por imagem.  
3. Medicina nuclear. I. Ferreira, Fernanda Carla Lima, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 616.0757

---

**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
FACULDADE DE FÍSICA**

**ATA DA APRESENTAÇÃO E DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE  
CURSO – TCC**

ATA DA SESSÃO DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DE GRAU DE LICENCIADO PLENO EM FÍSICA, REALIZADA ÀS 18h00min HORAS DO DIA 21 OUTUBRO DE 2015, NA SALA 12 DO PRÉDIO DA FÍSICA, CAMPUS II, INTITULADA: "A IMPORTANCIA DA TOMOGRAFIA POR EMISSÃO DE PÓSITRONS". FOI APRESENTADA DURANTE 25 MINUTOS PELO CANDIDATO LÚCIO ALVES PINTO JUNIOR, MATRICULA: 201140105033 DIANTE DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELA FACULDADE DE FÍSICA DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ (UNIFESSPA), ASSIM CONSTITUÍDA: FERNANDA CARLA LIMA FERREIRA (ORIENTADORA) – (UNIFESSPA), JORGE EVERALDO DE OLIVEIRA (UNIFESSPA), RODRIGO DO MONTE GESTER (UNIFESSPA). EM SEGUIDA, O CANDIDATO FOI SUBMETIDO À ARGÜIÇÃO, TENDO DEMONSTRADO CONHECIMENTOS NO TEMA OBJETO DA PROPOSTA DE TCC, FAVORECENDO À BANCA EXAMINADORA APRESENTAR CONTRIBUIÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO TCC E DECIDIR PELO CONCEITO BOM (9,0) DA MESMA, E CONCEDER O PRAZO MAXIMO DE 15 DIAS PARA SEREM EFETUADAS AS MODIFICAÇÕES SUGERIDAS PELA BANCA, SE FOR O CASO, E EM SEGUIDA A MESMA SERÁ ASSINADA POR TODOS OS MEMBROS. PARA CONSTAR FORAM LAVRADOS OS TERMOS DA PRESENTE ATA, QUE LIDA E APROVADA RECEBE A ASSINATURA DOS INTEGRANTES DA BANCA EXAMINADORA E DO CANDIDATO.

PRESIDENTE:

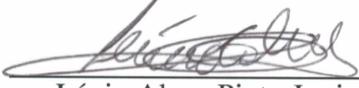
  
\_\_\_\_\_  
Profª Drª Fernanda Carla Lima Ferreira

MEMBROS:

  
\_\_\_\_\_  
Prof Dr Rodrigo do Monte Gester

  
\_\_\_\_\_  
Prof. M.Sc. Jorge Everaldo de Oliveira

CANDIDATO (A):

  
\_\_\_\_\_  
Lúcio Alves Pinto Junior

*Dedico este trabalho aos meus pais Sandra e Lúcio pelo apoio, confiança e por terem me ensinado a seguir um caminho correto, e a minha esposa Haiza por sempre estar ao meu lado e me apoiar em todos os momentos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por ter me concedido a honra de ser teu servo, me capacitando e me guiando.

Ao meu pai por todo o apoio, sacrifício e dedicação. Por ser meu amigo e conselheiro e mesmo longe está sempre comigo me incentivando.

A minha mãe, amiga e protetora. Por todo seu amor para comigo, carinho e preocupação nos momentos mais difíceis.

A minha princesa e eterna namorada Haiza. Pelos momentos de intensa dedicação e carinho. Pelo seu amor em todo tempo.

Aos meus irmãos queridos Leonardo e Lisandra que mesmo longe sempre dedicam um pouco de tempo para compartilharem uma mensagem de carinho e amor.

A minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fernanda Carla Lima Ferreira pela atenção. Nos momentos de escasso tempo se dedicou e me direcionou neste trabalho.

Ao meu mestre Batista, um grande amigo de longa data. Pelo seus conselhos e ensinamentos duradouros.

A Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará pela oportunidade de me proporcionar o ensino de Física.

Enfim a todos que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação acadêmica.

A todos os meus sinceros agradecimentos.

## Resumo

A Tomografia por Emissão Pósitron - PET (do inglês, *Pósitron Emission Tomography*) é uma modalidade diagnóstica não invasiva, que avalia a perfusão e a atividade metabólica tissulares, por meio de fármacos marcados com emissores de pósitrons (radiofármacos). Foi desenvolvida por Edward Hoffman e Michael E. Phelps em 1973 na Universidade de Washington em St. Louis, Estados Unidos. Os estudos com PET são alternativas economicamente viáveis e eficientes no diagnóstico e tratamento do câncer e de outras moléstias; ferramentas poderosas para o gerenciamento de doenças; fundamentais nas decisões corretas e precoces, na redução de riscos cirúrgicos, tratamentos intensivos e longas convalescenças; um instrumento promissor na saga da Medicina pelo predomínio da prevenção sobre o remédio. O mais recente lançamento da área de Medicina Nuclear é o PET/CT que une o equipamento de Tomografia Computadorizada com o aparelho de Tomografia por Emissão de Pósitrons. O presente estudo teve como objetivo principal a importância da tomografia por emissão de pósitrons. A partir deste estudo concluiu-se que a tomografia do PET é um dos mais modernos equipamentos utilizados em imagens médicas de última geração, responsável por diagnósticos e seguimentos de alta precisão realizado pela medicina nuclear e aplicado principalmente nas áreas de oncologia e entre outras.

**Palavra-chave:** Tomografia por Emissão Pósitrons (PET), radiofármacos, imagem.

## **Abstract**

The Positron Emission Tomography - PET is a noninvasive diagnostic method that evaluates perfusion and tissue metabolic activity through drugs labeled with positron emitters (radiopharmaceuticals). The development by Edward Hoffman and Michael E. Phelps in 1973 at Washington University in St. Louis, United States. Studies with PET are economically viable and efficient alternative in the diagnosis and treatment of cancer and other diseases; powerful tools for disease management; key in the correct and early decisions on reducing surgical risks, intensive care and long convalescence; a promising tool in the saga of medicine by the prevalence of prevention over cure. The latest release of Nuclear Medicine area is the PET / CT connecting the equipment Computed Tomography with the tomography apparatus Positron Emission. This study aimed to the importance of positron emission tomography. From this study it was concluded that CT PET is one of the most modern equipment used in cutting-edge medical imaging, responsible for high-precision diagnostics and follow-up conducted by nuclear medicine and applied mainly in the areas of oncology and so on.

**Keywords:** Positron Emission Tomography (PET) radiopharmaceuticals, image.

## Sumário

<b>1 Introdução.....</b>	<b>9</b>
1.1 Objetivo do Trabalho .....	11
<b>2 Fundamentação Teórica .....</b>	<b>11</b>
2.1 Histórico .....	11
2.1.1 O Início da Tomografia por Emissão de Pósitrons no Brasil .....	14
2.2 A relação entre a Tomografia por Emissão de Pósitrons e outras modalidades diagnóstica de imagem .....	16
2.2.1 Tomografia por Emissão de Pósitrons e Tomografia Computadorizada .....	16
2.2.2 Tomografia por Emissão de Pósitrons e Tomografia por Emissão de Fóton Único .....	17
2.2.3 Diferenças entre Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética com as Tomografias por Emissão de Pósitrons e de Fóton Único .	18
2.3 Aquisição de Imagens .....	19
2.4 Custos da utilização da Tomografia por Emissão de Pósitrons.....	20
2.5 A Física Aplicada na Tomografia por Emissão de Pósitrons .....	21
2.5.1 Radiações .....	22
2.5.2 Efeito Fotoelétrico.....	24
2.5.3 Efeito Compton.....	25
2.5.4 Decaimento Radioativo .....	26
2.5.5 Formação de Pares .....	27
2.6 A importância da Tomografia por Emissão de Pósitrons.....	28
2.7 A precisão dos exames .....	29
2.8 A inclusão da Tomografia por emissão de Pósitrons no SUS .....	31
2.9 Diagnóstico.....	32
<b>3 Análises.....</b>	<b>34</b>
<b>4 Considerações Finais .....</b>	<b>35</b>
<b>Referência .....</b>	<b>36</b>

## 1 Introdução

A distribuição dos radiofármacos é captada através do tomógrafo do tipo PET (Positron Emission Tomography), que produz imagens e índices quantitativos dos tecidos e órgãos corporais. Diferentemente de outras tecnologias de imagem voltadas predominantemente para definições anatômicas de doenças, como os raios X, a tomografia computadorizada (TC) e a ressonância magnética (MRI), o sistema PET é capaz de demonstrar as alterações bioquímicas mesmo que ainda não exista alteração anatômica evidente, permitindo um diagnóstico mais precoce para detectar doenças como o câncer.

O exame é realizado após administração intravenosa de um material radioativo (radiofármaco ou radiotraçador) que se acumula na área do corpo a ser examinada. Nesse local ocorre emissão de raios gama que podem ser colhidos por um detector de radiações (tomografia por emissão de pósitrons), acoplado a um computador que forma as imagens.

O paciente recebe uma injeção intravenosa de glicose marcada com um composto radioativo que se distribui pelo corpo todo, mas que se concentra em maiores quantidades nos tecidos tumorais, porque os tumores malignos apresentam metabolismo mais acelerados e consomem mais glicose que os tecidos normais. O contador de cintilações acoplado à tomografia colhe as imagens, que aparecerão como manchas ou regiões de brilho mais intenso nas áreas em que houver lesões tumorais (THRALL e ZIESSMAN, 2003).

O exame não apenas detecta a presença de tumores, mas é capaz de medir a intensidade luminosa que aparece nas imagens. Por meio da análise dessa intensidade, temos noção da atividade metabólica tumoral: quanto maior, mais intenso é o brilho.

No início a PET era utilizada somente para exames cerebrais, mas logo depois foi melhorado o desempenho para imagens do corpo inteiro. Até que nos anos 90 começou a ser reconhecida como forma eficiente de exames e diagnósticos. O único inconveniente está nos radiofármacos, que, devido à meia vida curta dos emissores de pósitrons, como o flúor 18, que tem sua atividade radioativa reduzida à metade a

cada hora e cinquenta minutos, devem ser produzidos próximo ao local da aplicação.

O flúor 18 é utilizado para marcar moléculas de glicose na forma de fluordeoxiglicose 18. Esse radionuclídeo é emissor de pósitrons que, por aniquilação, geram radiação eletromagnética de 511 keV.

Estudos realizados nos Estados Unidos demonstraram que, mesmo sendo um exame caro, o exame PET é vantajoso quando incluído nos protocolos para diagnósticos de diversas enfermidades, principalmente em oncologia. Como pode substituir vários outros exames, a PET ao final se torna mais barato. Além de ser uma das mais modernas e eficazes técnicas de diagnóstico por imagem, seu custo-benefício pode ser também salientado quando evita processos invasivos, como biópsias, eliminando assim os riscos inerentes a estes procedimentos (THRALL e ZIESSMAN, 2003).

No Brasil a tecnologia PET foi introduzida em 1998 no Instituto do Coração (INCOR), no Hospital das Clínicas em São Paulo. Até 2004, segundo a legislação brasileira em vigor, a produção e comercialização de radionuclídeos eram de exclusividade da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Uma das causas para a tardia e lenta introdução da PET no cenário nacional, além dos altos custos da tecnologia e dos exames (ROBIOTTA, 2006).

Em 2006, o Congresso Nacional Brasileiro promulgou uma emenda constitucional, alterando a produção de radionuclídeos de meia vida curta, tornando-a possível por instalações que não estejam subordinadas a CNEN, porém supervisionadas por ela. O acesso pelo Sistema Único de Saúde (SUS) e pelos sistemas privados de saúde ainda é limitado.

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar a importância da Tomografia por Emissão de Pósitrons no Brasil, analisando se o exame é vantajoso ou não quanto a sua precisão. Além disso, foi analisado que o exame PET hoje não é restrito somente a rede particular, mas já está disponível no SUS.

## 1.1 Objetivo do Trabalho

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo sobre a importância da tomografia por emissão de pósitrons no Brasil.

## 2 Fundamentação Teórica

### 2.1 Histórico

A história da medicina nuclear começou com a descoberta da radioatividade por Henri Becquerel, no ano de 1896, e de elementos radioativos naturais por Marie e Pierre Curie, em 1898, mas, foi George de Hevesy químico que propôs o “princípio traçador”, em 1913 que realmente forneceu o fundamento biológico para medicina nuclear (ROBIOTTA, 2006).

A medicina nuclear utiliza substâncias radioativas para diagnosticar e tratar doenças. Essa especialidade médica, capaz de fornecer informações fisiológicas e metabólicas sobre o corpo humano, se tornou uma ferramenta fundamental para a detecção precoce de muitas desordens, inclusive vários tipos de câncer (ROBIOTTA, 2006).

A medicina nuclear fornece métodos exclusivos para o diagnóstico de tumor, estágio e vigilância de longo prazo (LEONARD, 2002). O uso geral da medicina nuclear e seus procedimentos, está se expandindo rapidamente, especialmente à medida que no exame são realizadas novas tecnologias de imagem, tais como tomografia por emissão de pósitrons / tomografia computadorizada (PET/CT) e tomografia computadorizada por emissão de fóton único (SPECT / CT), continuam a melhorar a precisão da detecção, localização, e caracterização de doença, e como automação e miniaturização de cíclotrons e avanços em radioquímica tornar a produção de radioisótopos mais prático e versátil (INSTITUTE OF MEDICINE, 2010).

A tomografia por emissão de pósitrons - PET (do inglês, *Póstron Emission Tomography*) é um exame não invasivo cujo princípio fundamental é avaliar a atividade metabólica tissular, e utiliza compostos marcados com emissores de pósitrons (TERRA FILHO et al, 2000). Foi desenvolvida por Edward Hoffman e

Michael E. Phelps em 1973 na Universidade de Washington em St. Louis, Estados Unidos.

A PET só começou a ser mais intensivamente utilizada para o diagnóstico médico e estudos dinâmicos do metabolismo humano a partir da segunda metade de 1980, quando as aplicações clínicas potenciais da PET foram se tornando mais evidentes e houve uma maior facilidade de obtenção dos traçadores emissores de pósitrons, seja pelo progresso técnico na área de cíclotrons e da radiosíntese, seja pela organização de fornecedores regionais dos radiofármacos, dispensando a necessidade destes equipamentos em todas as unidades que instalam a tecnologia de imagem (PEREGRINO et al, 2004).

A adoção do PET como recurso clínico foi enriquecida em 1995 com a utilização da deoxi-2-D-glicose marcada com fluor-18 (FDG), elemento com meia-vida de 110 minutos, o que possibilitou facilidade no seu transporte e, portanto, seu uso sem maiores complicações. Além disso, nos últimos anos, foi possível a redução dos custos deste exame com o emprego de câmaras híbridas, isto é, equipamentos que podem ser utilizados para outros procedimentos de medicina nuclear, além da tomografia por emissão de pósitrons (TERRA FILHO et al, 2000).

O governo dos Estados Unidos nos últimos 50 anos da história da medicina nuclear tem feito investimentos em ciência e tecnologia e avançando nos cuidados de saúde. Como resultado desses investimentos, surgiram novos procedimentos de medicina nuclear, como a Tomografia por Emissão de Pósitrons, que diagnostica doenças de modo não-invasivo, adquirindo informações direcionadas para diferentes tratamentos (INSTITUTE OF MEDICINE, 2010).

Os primeiros exames PET foram realizados nos Estados Unidos no início de 1970, logo após a introdução da Tomografia Computadorizada (CT) para imagiologia cerebral. As primeiras publicações de PET scans e ressonância magnética (RM) ocorreram por volta do mesmo período. A PET foi utilizada para fornecer estudos *in vivo* de fluxo sanguíneo, o metabolismo, a densidade do receptor e principalmente do cérebro e do coração. Com o desenvolvimento de fluorodeoxyglucose (FDG) no final dos anos 70, as aplicações clínicas potenciais de PET tornaram-se evidentes na década de 80

(WORKMAN JR & COLEMAN, 2006). A Figura 1 mostra um dos primeiros scanners do PET.



**Figura 1** – Primeiros scanners PET (SABBATINI, 1997).

Diferentemente da CT e da RM, que são técnicas de transmissão, a PET é uma técnica de emissão, envolvendo a colocação dentro do corpo sob exame de um elemento de moléculas radioativas e o posterior mapeamento de sua posição, de dentro para fora (PEREGRINO et al, 2004).

Na década de 1990, as técnicas de PET de corpo inteiro para avaliar pacientes com câncer tornou-se mais amplamente disponível e os resultados foram demonstrando utilidade clínica. Naquela época, muita preocupação e críticas estavam ocorrendo relacionado com o rápido aumento da utilização de CT e RM. Os custos de saúde foram aumentando em uma taxa rápida. A Figura 2 representa um paciente realizando a PET.



**Figura 2 – Exame PET (Tomografia por Emissão de Próton) (SABBATINI, 1997).**

### **2.1.1 O Início da Tomografia por Emissão de Pósitrons no Brasil**

Já no Brasil a tecnologia PET foi introduzida em 1998, com a instalação de uma câmara PET/ SPECT no Serviço de Radioisótopos do Instituto do Coração (InCor) do Hospital das clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HC-FMUSP). Com custo reduzido e sustentável, essa nova tecnologia estabelecida em SPECT a PET, foram introduzidas na Cidade de São Paulo e em Campinas (ROBIOTTA, 2006).

Em 2004, a PET encontrava-se ainda nas primeiras etapas de difusão, existindo até então quatro equipamentos instalados, sendo três em hospitais privados e um no Instituto do Coração, todos na cidade de São Paulo (PEREGRINO et al, 2004).

Ainda como parte do processo de incorporação da tecnologia, a instalação do sistema PET no INCOR foi acompanhada do treinamento de 4 médicos, 3 físicos, 1 biomédica e 1 enfermeira, para a realização dos exames e interpretação dos laudos (PEREGRINO et al, 2004).

Em 2006 o Congresso Nacional Brasileiro promulgou uma emenda constitucional, alterando a produção de radionuclídeos de meia vida curta, tornando-

a possível por instalações que não estejam subordinadas a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), porém supervisionadas por ela.

No Brasil os equipamentos de tomografia por emissão de pósitrons combinados com tomografia computadorizada foram gradativamente incorporados ao arsenal diagnóstico a partir de 2003. Recentemente, notou-se um avanço crescente no número de equipamentos instalados em instituições públicas e privadas, associado a um número também crescente de instalações de cíclotrons (equipamentos que produzem os isótopos emissores de pósitrons utilizados na realização dos exames). Os cíclotrons existentes no Brasil estão localizados em diferentes regiões do país, em São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Recife, o que possibilita a descentralização da realização dos exames de PET/CT (FAGUNDES, 2014).

As novas modalidades de imagem, como representa a Figura 3, foram vistas como uma das principais causas do custo dos cuidados médicos, como são agora. Vários estudos e relatórios foram proibidos na década de 1990, que eram críticos do processo de aprovação para a cobertura de CT e RM, e sugeriu que não fosse marcado sobre utilização destas modalidades de imagem. Assim, como PET estava começando a ser revisto como uma clínica modalidade de imagem, ficou sob escrutínio em relação ao CT e RM.

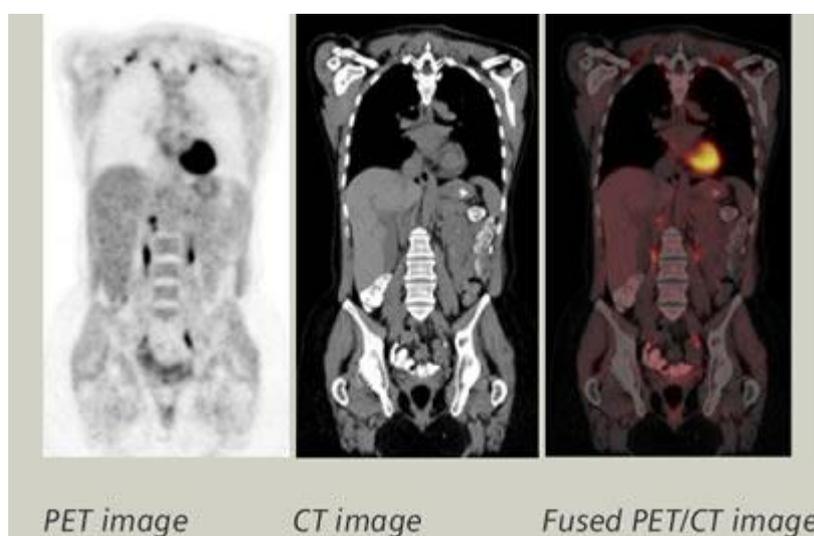


**Figura 3** - Paciente sendo submetido a um exame PET-CT no Brasil (H. SAMARITANO, 2015).

## 2.2 A relação entre a Tomografia por Emissão de Pósitrons e outras modalidades diagnósticas de imagem

### 2.2.1 Tomografia por Emissão de Pósitrons e Tomografia Computadorizada

O PET-CT tem se destacado por combinar os recursos diagnósticos da medicina nuclear que produz imagens da distribuição molecular com a radiologia que gera imagens anatômicas. Assim é possível obter, simultaneamente, informações anatômicas e funcionais. Os equipamentos de PET-CT são sistemas constituídos por acoplamento de dois tomógrafos, um PET e um CT helicoidal de qualidade diagnóstica, possibilitando a fusão das imagens metabólicas do PET às imagens anatômicas do CT. Este exame diagnóstico consegue associar a alta sensibilidade metabólica do PET, e a alta resolução espacial do CT, permitindo uma correlação anatômica do corpo inteiro, até então impossível de ser realizada, assim, como mostra a Figura 4 anatomia do corpo do paciente, nas diferentes modalidades de imagem. Essa característica da imagem gerada no PET-CT possibilita a detecção precoce e a localização precisa de uma lesão (SATANA, 2014).



**Figura 4-** Anatomia do corpo do paciente (SATANA, 2014).

A técnica de PET-CT quando comparada a outras técnicas de diagnóstico de imagem, pode submeter os pacientes a níveis de radiação mais elevados pelo fato de que, além da radiação proveniente do radiofármaco administrado, o paciente recebe também a radiação emitida pelo tomógrafo computadorizado (SANTANA,

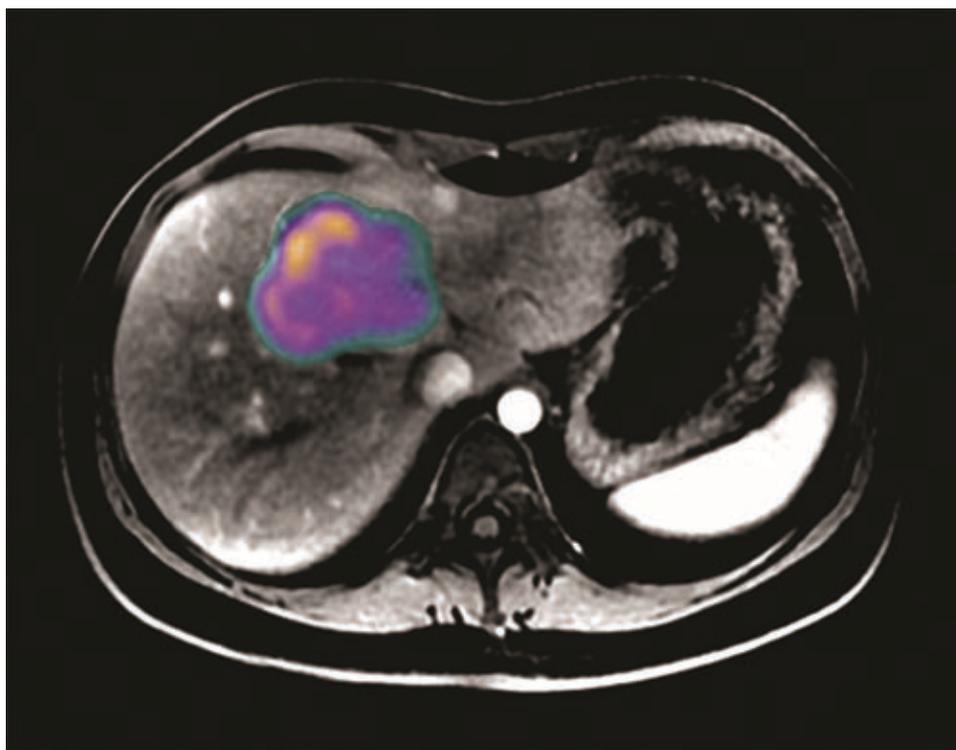
2014).

A PET e a CT fornecem, respectivamente, informação funcional e anatômica. Ainda que a PET tenha uma grande resolução de contraste, sua resolução espacial é baixa. A CT possui uma alta resolução espacial, o que permite um melhor reconhecimento anatômico e quando utilizada com contraste injetável, fornece informações sobre o fluxo vascular e a permeabilidade tissular. Na tentativa de suprir as carências de uma tecnologia com os benefícios da outra, surgiu a PET-CT. Os primeiros aparelhos de PET-CT começaram a ser comercializados em 2001 (BRATS, 2010).

### **2.2.2 Tomografia por Emissão de Pósitrons e Tomografia por Emissão de Fóton Único**

A SPECT é uma técnica tomográfica de imagem médica que combina efeitos da medicina nuclear com a tomografia computadorizada.

As técnicas de “imagem molecular” contemplam os princípios da tomografia óptica (*“optical imaging”*) – um futuro potencial cada vez mais iminente, principalmente devido à sua característica fundamental de não ser invasiva (sem utilização de radiação ionizante); da tomografia por emissão de pósitrons; e da tomografia por emissão de fóton único. Tanto com PET quanto com SPECT podem ser estudados química cerebral, neurotransmissão (neurônios pré e pós-sinápticos), assim como outras funções cerebrais, como por exemplo a utilização de glucose (COSTA DC et al, 2001). A Figura 5 demonstra SPECT-TC, apresentando em cores um tumor no fígado.



**Figura 5** – SPECT-TC, apresentado em cores um tumor no fígado, (Costa DC et al, 2001).

PET e SPECT podem definir com facilidade a farmacocinética de novos fármacos e demonstrar suas características e seu comportamento farmacodinâmico. Exemplos na literatura atestam essas capacidades e demonstram que essas tecnologias precisam ser mais exploradas (COSTA DC et al, 2001).

### **2.2.3 Diferenças entre Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética com as Tomografias por Emissão de Pósitrons e Fóton Único**

A tomografia computadorizada e a ressonância magnética mostram apenas as estruturas anatômicas do cérebro. Como o cérebro é um órgão estático, não se move como o coração ou pulmão, os raios X tem escasso valor para avaliação da função. O valor dos tomógrafos de PET ou SPECT está relacionado ao estudo das funções cerebrais, das partes ativas ou não-ativas do cérebro. Com esses exames é possível avaliar como as diferentes regiões do cérebro funcionam ao desenvolvermos as mais diversas atividades mentais, como por exemplo, pensar, lembrar, ouvir, ver, falar etc (SBBMN, 2011).

## 2.3 Aquisição de Imagens

A PET gera uma imagem que é um mapa da distribuição de um radiofármaco emissor de pósitrons em um determinado corte do corpo (ROBILOTTA, 2006). Essa tecnologia usa radioisótopos de meia-vida curta, geralmente inferior a duas horas, que permite a aquisição de imagem diagnóstica de processos metabólicos, avaliando a existência ou não de alterações nesses processos (SÁ, 2010). Conforme a Figura 6 que mostra a aquisição de imagem, esquematizando o exame da PET, o tempo de captação é variável (15 a 20 segundos).

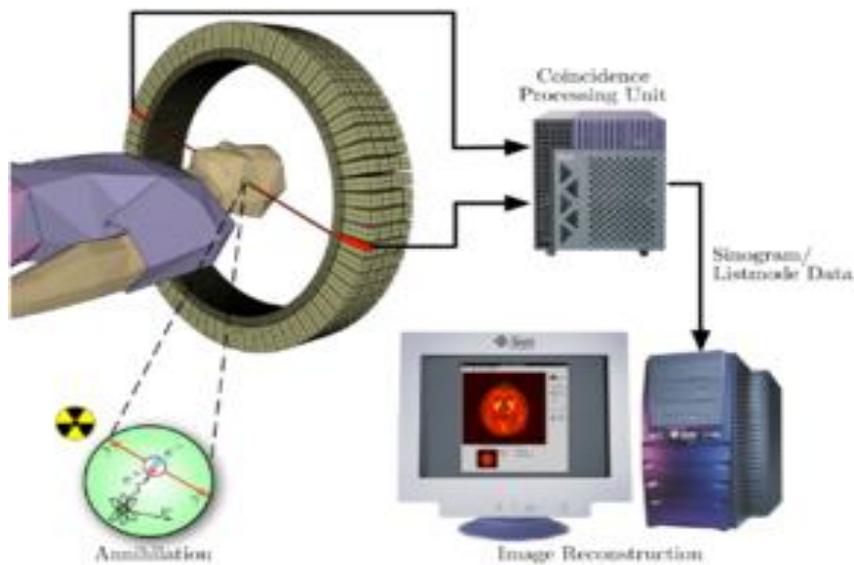
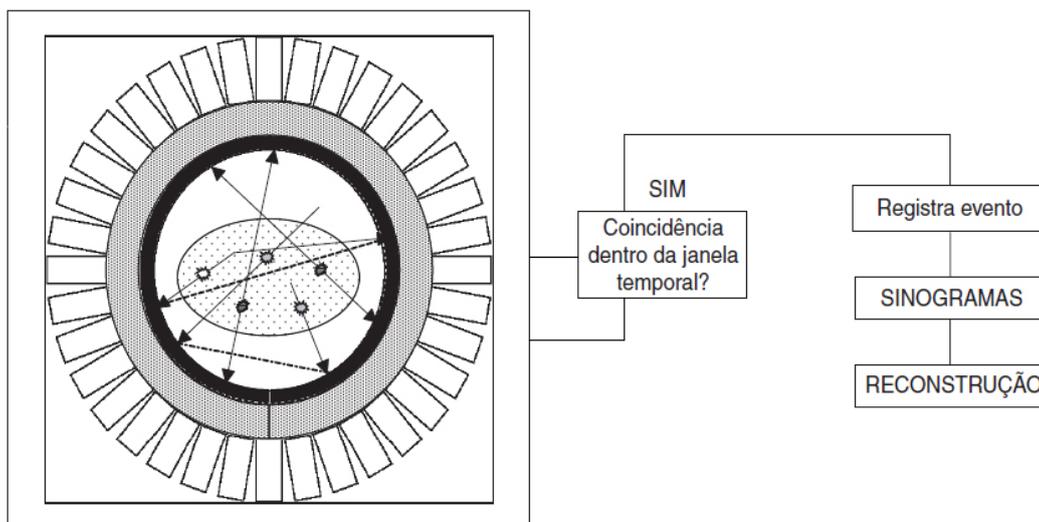


Figura 6 - Esquema do processo do exame PET (COSTA, 2015)

A detecção dos fótons no PET se dá pelo uso de cristais de cintilação acoplados a tubos fotomultiplicadores. Modernos sistemas de PET são formados por até 15.000 desses detectores dispostos em anéis adjacentes. A identificação da incidência de dois fótons dentro de intervalos da ordem de 10 a 12 nanossegundos permite ao aparelho inferir a localização onde ocorreu a aniquilação. Um complexo sistema de análise, discriminação e processamento forma então a imagem tomográfica, conforme a Figura 7.



**Figura 7** – Esquema de detecção por coincidência (pares de fótons) em sistemas dedicados de tomografia de emissão de pósitrons (PET). *Adaptado de* (ROBILLOTA, 2006).

As partículas de pósitrons ao serem combinadas com elétrons são aniquiladas, com isso sua massa se transforma em energia, que resulta na liberação de 511 keV emitidos em direção oposta, que são utilizadas para a localização da interação pósitron-eletron. Esta radiação liberada é detectada, processada por computador e a seguir é transformada em imagem (TERRA FILHO et al, 2000).

Se um dos dois gamma raios é disperso ou absorvido pelo corpo, em seguida, um evento, verdadeira coincidência, não é gravado. Tais perdas de contagem de atenuação corpo dependem do hábito corporal e pode ser surpreendentemente grande.

Em um aparelho PET os fótons emitidos interagem com um detector em anel em locais opostos, que definem uma linha ao longo da qual a reação de aniquilação ocorreu, permitindo a localização da mesma. Dessa maneira, utilizando muitos eventos, a imagem PET pode ser reconstruída (TURKINGTON, 2001).

## 2.4 Custos da utilização da Tomografia por Emissão de Pósitrons

A tecnologia da área da Medicina Nuclear, a PET, é complexa e de alto custo, cujo, o uso vem sendo proposto de forma complementar as técnicas de imagem anatômica como a ultrassonografia computadorizada e ressonância magnética (BRATS, 2010).

Apesar da nova lei determinada pela Agência Nacional de Saúde Suplementar (ANS), no mês de abril, que obriga os planos de saúde a ampliarem suas coberturas, o exame do Pet-scan não é pago pelos convênios. Seu custo hoje aproximado é de R\$3.500,00 (ONCOGUIA, 2015).

O aparelho Pet-scan é importado dos estados unidos e custa cerca de US\$ 1,5 milhão. A Tabela 1 apresenta valores aproximados de um exame PET:

HOSPITAL	LOCAL	VALOR (R\$)
INCOR - Instituto do Coração	São Paulo - SP	2.918,00
HCOR - Hospital do Coração	São Paulo - SP	3.300,00
Instituto Fleury de Imagens	São Paulo - SP	3.643,00
Hospital Sírio Libanês	São Paulo - SP	3.658,00
Hospital Albert Einstein	São Paulo - SP	3.902,66
Hospital Samaritano	Rio de Janeiro – RJ	3.600,00
Clínica Som Diagnósticos	Belém – PA	3.600,00
Hermes Pardini	Belo Horizonte - MG	3.531,00
Climedi	Aracajú - SE	4.400,00

**Tabela 1** – Valores do exame PET no Brasil.

## 2.5 A Física Aplicada na Tomografia por Emissão de Pósitrons

A técnica PET (*Póstron Emission Tomography*) utiliza radionuclídeos emissores de pósitron (partículas  $\beta^+$ ). Esses pósitrons interagem instantaneamente com elétrons, ocorrendo aniquilação de pares (elétron-positron) e emissão de dois fótons gama com energia de 511 keV cada um, na mesma direção, mas com sentidos opostos, que são recolhidos externamente num detector circular, gerando na parte computacional imagens tridimensionais (FUJITA, 2008).

A PET gera uma imagem tomográfica através de detecção dos fótons provenientes da aniquilação elétron-pósitron. Os radionuclídeos que emitem pósitron são tipicamente usados para aquisição de imagens, como o O-15; N-13 e C-11 que possuem um curto tempo de meia vida e são produzidos no ciclotron. O ciclotron também produz F-18, cujo tempo de meia vida é de 110 minutos. Já o Rb-82, possui

o tempo de meia vida de 72 segundos, e também é utilizado em PET, mas não requer um ciclotron, é produzido por um gerador de radionuclídeos que tem uma meia vida de um mês.

### **2.5.1 Radiações**

Radiação é a energia que se propaga a partir de uma fonte emissora através de qualquer meio, podendo ser classificada como energia em trânsito. Ela se apresenta em forma de partícula atômica ou subatômica energética tais como partículas alfa, elétrons, pósitrons, prótons, nêutrons etc. que podem ser produzidos em aceleradores de partículas ou em reatores. A radiação pode se apresentar também em forma de onda eletromagnética, constituída de campo elétrico e campo magnético oscilantes (OKUNO, 2013).

Diante do exposto, relata-se que a gravidez é uma contraindicação, pois expõe o feto à radiação gama liberada pelo radiofármaco. Mulheres em lactância devem suspender a amamentação dos recém-nascidos 24h antes do procedimento, para reduzir a concentração no tecido mamário. Outras contraindicações relativas incluem claustrofobia, incapacidade de suportar a posição supina por pelo menos 1h ou de cooperação durante o exame (BRATS, 2010).

#### **- Radiação eletromagnética**

São enquadradas como radiações eletromagnéticas todas as radiações que possuem oscilações elétricas e magnéticas: são ondas que viajam numa mesma velocidade e diferem somente no comprimento de suas ondas. Este “comprimento de onda” é normalmente expresso pela letra grega lambda ( $\lambda$ ) (SCAFF, 1997).

A propagação da energia ocorre através de ondas eletromagnéticas (campos elétricos e magnéticos perpendiculares um ao outro), que no vácuo se propagam com a velocidade da luz ( $c = 3 \times 10^8$  m/s). Como exemplos de radiações podemos citar as micro-ondas, os raios X, raios gama, 2 sinais de rádio, radiação ultravioleta, luz do sol, entre outras. Estas radiações têm inúmeras aplicações e o que as difere é sua frequência (NETO, 2007).

Radiação é um tema que sugere diferentes abordagens. Embora banhados por todos os tipos de radiação eletromagnética, enxergamos apenas a parte visível do espectro. Popularmente associada a catástrofes, está presente em nosso cotidiano de várias formas diferentes, sendo classificadas de acordo com a sua frequência em ionizante ou não ionizante (PEREIRA, 2014).

### **- Radiação Ionizante**

Considera-se radiação ionizante qualquer partícula ou radiação eletromagnética que, ao interagir com a matéria, “arranca” elétrons dos átomos ou de moléculas, transformando-os em íons, direta ou indiretamente.

Assim, as partículas e a radiação gama emitida por fontes radioativas, bem como os raios X emitidos pelos respectivos aparelhos, são radiações ionizantes (CARDOSO, 2012).

As partículas carregadas eletricamente como partículas alfa, betas, elétrons e pósitrons, quando possuem energia suficiente, são consideradas radiação ionizante e vão ionizando átomos que encontram em sua trajetória num dado meio até perder toda energia (OKUNO, 2013).

### **- Radiação não Ionizante**

Quando a radiação ao atingir um átomo não tem a capacidade de ionizá-lo, ocorre a “excitação”, ou seja, cede parte ou toda sua energia promovendo alterações ou perturbações no movimento orbital dos elétrons do átomo, com o aumento da energia interna nos elétrons do átomo com os quais interagiu (GOMES, 2006).

Existem atualmente várias fontes de radiação, a mais famosa fonte de radiação não ionizante é o sol.

## Tipos de radiação não ionizantes mais conhecidas

– **Micro-ondas e radiofrequências** afetam o corpo principalmente com aumento da temperatura. Fonte: rádio e TV, forno de micro-ondas etc.

– **Infravermelha**: Normalmente está presente em fontes locais de emissão de calor. A exposição é aumentada pela proximidade. Exemplo: fornos, fundições (WHALDELM, 2015).

### 2.5.2 Efeito Fotoelétrico

É caracterizado pela transferência total de energia de um fóton (radiação X ou gama), que desaparece, a um único elétron orbital, o qual é expelido com uma energia cinética bem definida,  $T$ , qual seja:

$$T = hn - Be \quad (1)$$

onde  $h$  é a constante de Planck,  $n$  é a frequência da radiação e  $Be$  é a energia de ligação do elétron orbital (XAVIER et al, 2010). A Figura 8 ilustra o efeito fotoelétrico.

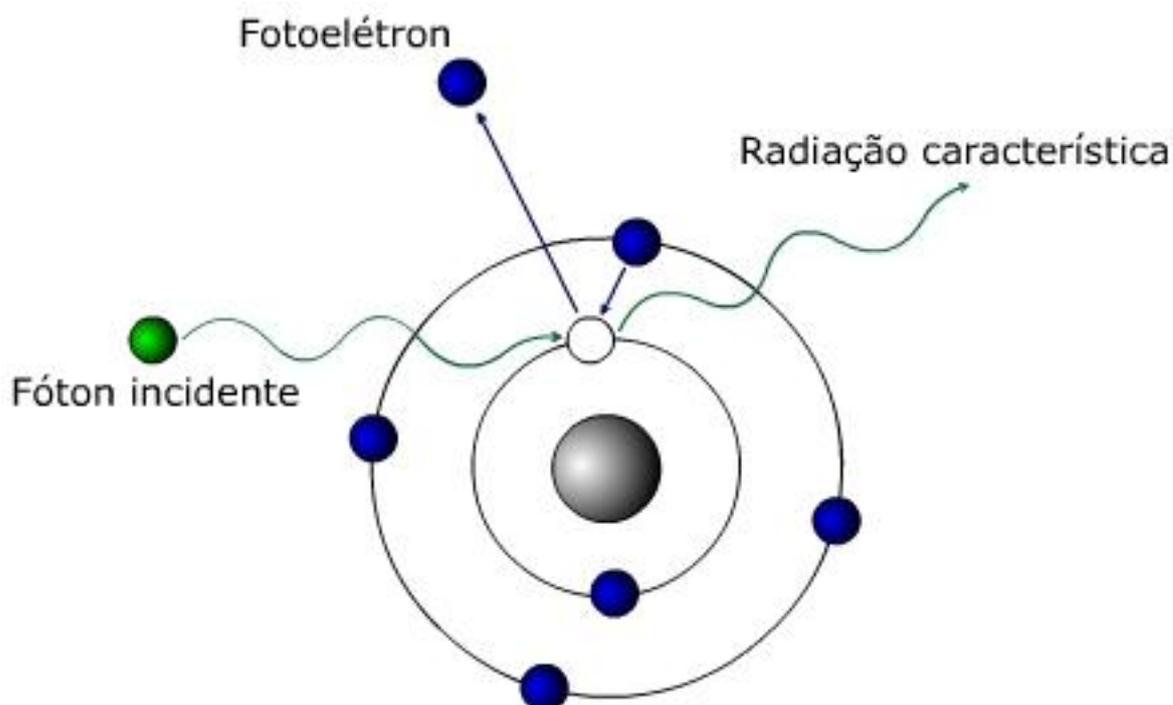
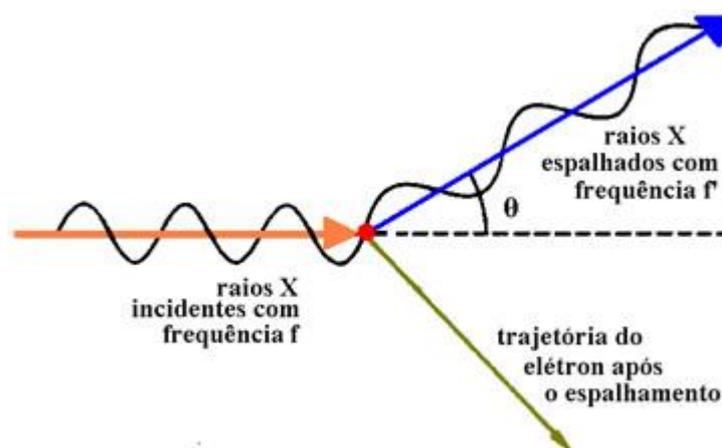


Figura 8 - Efeito fotoelétrico (CARDOSO, 2012).

A direção de saída do fotoelétron em relação à direção de incidência do fóton varia com a energia. Então os elétrons recebem energia cinética, onde o valor depende do número 25 atômico  $z$  do alvo (metal) utilizado e da frequência (energia) da luz. O efeito fotoelétrico é exclusivamente para baixas energias e para materiais de número atômico elevado (OKUNO & YOSHIMURA, 2010).

### 2.5.3 Efeito Compton

Neste efeito, o fóton incidente é espalhado por um elétron periférico, que recebe apenas parcialmente a energia do fóton incidente. O fóton espalhado terá uma energia menor e uma direção diferente da incidente. Dessa forma, a interação do fóton é descrita como um espalhamento por um elétron livre, inicialmente em repouso. O Efeito Compton depende ainda da densidade do elemento (número de elétrons/cm<sup>3</sup>), e decresce em função da energia dos fótons, porém não tão rapidamente como no efeito fotoelétrico. Este é inversamente proporcional à energia do fóton, e proporcional ao número atômico  $Z$  do material absorvedor (PEREIRA et al, 2013). A figura 9 mostra o esquema da ocorrência do Efeito Compton.



**Figura 9** – Efeito Compton (SILVA, 2015).

Para explicar o sucedido, Compton inspirou-se na abordagem de Einstein, ou seja, ele interpretou os raios X como sendo feixes de partículas e a interação como sendo uma colisão de partículas. A energia do fóton incidente, de acordo com Einstein e Planck, seria  $h \cdot f$ ; e o fóton espalhado teria elétron, em respeito à lei da conservação da energia.

A abordagem funcionou perfeitamente, mas Compton foi ainda mais longe. Ele investigou também a interação do ponto de vista da lei da conservação do momento linear. Experimentalmente, verificou que essa lei valia para diversos ângulos de espalhamento, desde que o momento linear do fóton fosse definido como:

$$Q_{\text{fóton}} = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (2)$$

Onde:

$c$  – é a velocidade da luz no vácuo

$h$  – é a constante de Planck

$\lambda$  – é o comprimento de onda da radiação

#### 2.5.4 Decaimento Radioativo

O número de átomos radioativos  $N$  em uma dada amostra diminui exponencialmente em função do tempo segundo a bem conhecida fórmula do decaimento:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 2^{-t/t_{1/2}} \quad (3)$$

onde  $N_0$  é o número inicial de átomos,  $\lambda$  é a constante de decaimento e  $t_{1/2}$  a meia vida

$$\left(\text{logo } t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}\right). \quad (4)$$

A atividade  $A$  de uma fonte é definida como sendo a taxa de decaimento (o número de decaimentos por unidade de tempo):

$$A(t) = -\left|\frac{dN}{dt}\right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N(t) \quad (5)$$

em termos da atividade inicial  $A_0 = \lambda \cdot N_0$ :

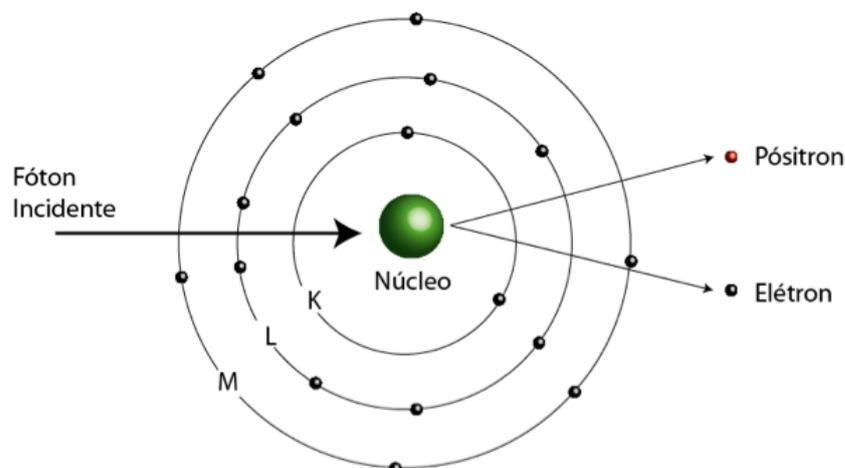
No SI a unidade de medida da atividade é o becquerel (Bq) que é definido como sendo uma desintegração por segundo. Por razões históricas ainda é bastante utilizada a unidade de 1 curie (Ci), que corresponde a  $3,7 \times 10^{10}$  Bq.

$$A(t) = A_0 2^{-t/t_{1/2}} \quad (6)$$

No SI a unidade de medida da atividade é o becquerel (Bq) que é definido como sendo uma desintegração por segundo. Por razões históricas ainda é bastante utilizada a unidade de 1 curie (Ci), que corresponde a  $3,7 \times 10^{10}$  Bq (KRANE, 1988).

### 2.5.5 Formação de Pares

Além dos efeitos fotoelétrico e Compton há outro processo no qual os fótons perdem sua energia na interação com a matéria, que é o Processo de produção de pares. A produção de pares é também um ótimo exemplo da conversão de energia radiante em massa de repouso e energia cinética. Neste processo, ilustrado na figura 10, um fóton de alta energia perde toda sua energia em uma colisão com um núcleo, criando um par elétron-pósitron, com uma certa energia cinética. Um pósitron é uma partícula que tem todas as propriedades de um elétron, exceto o sinal de sua carga (e o de seu momento magnético) que é oposto ao do elétron; o pósitron é um elétron positivamente carregado (EISBERG & RESNICK, 1979).



**Figura 10** – Processo de produção de pares. (CARDOSO, 2012).

Portanto, na interação por produção de pares o fóton desaparece e em seu lugar aparecem um elétron e um pósitron. A massa de um elétron é equivalente a 511 keV. Como o pósitron é igual a um elétron, a exceção de sua carga elétrica, a energia necessária para produzir um par elétron-pósitron é igual a 1022 keV. Sendo assim, nenhum fóton com energia menor que esse limiar de 1022 keV poderá sofrer uma interação de produção de pares. Quanto maior a energia do fóton, maior a probabilidade de ocorrer esse tipo de interação. A energia excedente ao valor necessário para produzir as partículas será sua energia cinética após a interação.

A secção de choque atômica para a produção de pares no campo de um núcleo (ou pela interação com o campo elétrico de um elétron orbital) é dada por:

$$\alpha\kappa = \alpha r_e^2 Z^2 P(h\nu, Z) \quad (7)$$

onde:

$\alpha$  é a constante de estrutura fina ( $\alpha = 1/137$ ),

$r_e$  é o raio clássico do elétron,

$Z$  é o número atômico do absorvedor e

$P(h\nu, Z)$  é uma função complicada da energia do fóton e do número atômico.

O coeficiente de atenuação mássico para a produção de pares é calculado como:

$$\frac{\kappa}{\rho} = \frac{N_A}{A} \alpha\kappa \quad (8)$$

## 2.6 A importância da Tomografia por Emissão de Pósitrons

Uma característica importante dos exames realizados com radiofármacos é a sua alta sensibilidade isto é, a possibilidade de obter informações biológicas com concentrações de radiofármacos em níveis de nano ou picomolares. Além disso, a marcação de diferentes moléculas com um único radionuclídeo permite avaliações e estudos de um mesmo órgão ou sistema em seus aspectos tanto macroscópicos quanto moleculares (ROBILOTTA, 2006).

A tomografia por emissão de pósitrons é usada para distinguir massas benignas de malignas no pulmão, cólon, mama, linfomas e outras neoplasias, e na detecção de metástases. Esta técnica constitui 90% desses exames feitos atualmente.

Outra característica importante que pode ser destacada é o impacto clínico do uso da PET que reside na possibilidade de evitar cirurgias desnecessárias, sobretudo a partir da detecção de lesões adicionais não identificadas pelas técnicas diagnósticas mais usuais (BRATS, 2010).

Com relação à avaliação para diagnosticar doenças, a tomografia por emissão de pósitrons se mostra superior em relação às outras técnicas de imagem, e a detecção de lesões extra-hepáticas contribui o fato desse exame investigar o corpo inteiro em uma única consulta. Ela é capaz de demonstrar as alterações bioquímicas mesmo que ainda não exista alteração anatômica evidente, permitindo um diagnóstico mais precoce (JONES, 1996).

Os resultados obtidos, em especial aqueles com os sistemas combinados PET/CT, têm ajudado a indicar, ajustar e, até mesmo, alterar procedimentos em pacientes com tumores de diversos tipos (ROBIOTTA, 2006).

A introdução da tomografia por emissão de pósitrons, em particular o uso de sistemas PET/CT, está propiciando uma interação maior entre médicos nucleares e radiologistas no que se refere à análise e à avaliação das imagens compostas de anatomia e fisiologia, e entre os médicos especialistas em imagens e oncologistas no que tange aos resultados obtidos (ROBIOTTA, 2006).

## **2.7 A precisão dos exames**

TERRA FILHO et al (2000) avaliaram os resultados do exame PET em pacientes portadores de doenças pleuropulmonares infecciosas ou tumorais. Nos indivíduos com tumores pulmonares, observaram exames positivos em todos os pacientes com neoplasias malignas e em um indivíduo com nódulo granulomatoso. Observou-se também a captação do aumento do FDG (Flúor-Desoxi-Glicose), porém o exame não mostrou evidências de atividade inflamatória.

Em seus estudos ROBIOTTA (2006), verificou-se que a grande vantagem do uso desses sistemas está na aquisição de duas modalidades (PET/CT) de imagens a partir do mesmo referencial, isto é, o paciente não é deslocado entre um exame e outro, facilitando a fusão das duas imagens para identificação das regiões analisadas.

Segundo o Boletim Brasileiro de Avaliação de Tecnologia em Saúde (BRATS), não foram identificados quaisquer evidências que a Tomografia por Emissão de Pósitrons poderia impactar nos desfechos maléficos a saúde. Embora a principal mudança de tratamento com o uso da PET refira-se à suspensão de cirurgias desnecessárias. Porém, durante a gravidez é contraindicado fazer esse exame, pois expõe o feto à radiação gama liberada pelo radiofármaco. Mulheres em lactância devem suspender a amamentação dos recém-nascidos 24h antes do procedimento, para reduzir a contração no tecido mamário. Outras contraindicações relativas incluem claustrofobia, incapacidade de suportar a posição supina por pelo menos 1h ou de cooperação durante o exame.

As avaliações realizadas em outros países dão margem a certo otimismo para o uso do PET no CCR (Câncer do Colo Retal) com metástase hepática. É o exame mais indicado para acompanhar o desenvolvimento do tumor, sua localização, a presença (ou não) de metástases e a sua resposta a medicamentos.

Com relação às desvantagens do exame, FACEY *et al* (2009) em seus estudos avaliaram a efetividade clínica da PET e PET-TC separadamente, mostrando que para o diagnóstico de tumores menores que 2 cm, estas técnicas não são indicadas.

Em seu estudo FUJITA (2008) menciona a importância de observar as instalações ao exame PET. O paciente deve ficar em repouso, mas em estado consciente antes e depois a administração do FDG, o tempo de repouso é de 30 a 90 minutos. Depois do período de repouso, o paciente deverá urinar eliminando assim uma quantidade de radioatividade acumulada na bexiga, aproximadamente 15 a 20% da atividade administrada.

TERRA FILHO et al (2000) concluíram que a atualização do FDG-PET através de câmara híbrida produz exame de qualidade adequada, que permite a identificação de processos infecciosos granulomatoso em atividade. Este exame adicionado ao quadro clínico/radiológico pode diferenciar processos neoplásicos pulmonares benignos dos malignos.

Por meio desse exame é possível decidir o procedimento a ser usado pelo médico no paciente como cirurgia, quimioterapia, biópsia ou até mesmo se não há mais como tratar a doença. Segundo o presidente da Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear, Celso Dario Ramos, o exame é usado no Brasil há pouco mais de dez anos. Ele esclarece que, com esse exame, é possível evitar uma cirurgia desnecessária ou detectar precocemente o crescimento de um tumor.

Segundo REINHARDT MJ et al. F-FDG PET/TC é um método altamente confiável para a detecção de metástases por melanoma e parece ser superior aos métodos convencionais de imagiologia e PET.

## **2.8 A inclusão da Tomografia por Emissão de Pósitrons no SUS**

Em 2004, segundo PEREGRINO, a cobertura de procedimentos de imagem PET não estava ainda incluída dentro da tabela de reembolso do SUS e a sua incorporação ao sistema público era uma demanda que estava sendo colocada ao Ministério da Saúde.

PEREGRINO (2004), pode-se esperar que a difusão da PET aumente, gerando pressões de custos ao SUS, cuja a resposta deve estar apoiada em relações bem conhecidas e estabelecidas de benefícios e efetividade. Isso se faz ainda mais importante porque, embora tenha se ampliado o quantitativo de avaliações de tecnologias em saúde (ATS) sobre o valor clínico da PET nos últimos anos, existe ainda uma certa escassez de evidências disponíveis sobre o custo-efetividade da tecnologia em várias das indicações clínicas para as quais ela está sendo advogada.

Segundo BRATS (2010), a quebra do monopólio da União na produção de radiofármacos, a partir de 2006, desencadeou um movimento de multiplicação de

instalações de ciclotrons e de compras de tomógrafos PET, principalmente pelo setor privado de saúde, produzindo aumento das demandas e pressões pela incorporação às tabelas de reembolso do SUS, exigindo informações atualizadas e baseadas em evidências para apoiar os processos decisórios.

Em vinte três de abril de 2014 foi incorporado ao SUS o exame PET, com algumas restrições, cobrindo somente exames nos casos de câncer de pulmão, colorretal, linfoma de Hodgkin e linfoma não Hodgkin, doenças que, somadas, tendo pelo menos 69.790 mil novos registros naquele ano.

De acordo com a SBMN, existem pelo menos 100 aparelhos, entre públicos e privados (geralmente credenciados ao SUS), em todo o país. Segundo Ramos, os aparelhos estão distribuídos proporcionalmente à densidade demográfica do país, havendo assim condições de atender à população.

FAGUNDES (2014) identificou um avanço crescente no número de equipamentos PET instalados em instituições públicas e privadas, associado a um número também crescente de instalações de ciclotrons. Esses ciclotrons existentes no Brasil estão localizados em diferentes regiões do país, o que possibilita a descentralização da realização dos exames de PET/CT.

O material radioativo tem custo elevado e deve ser entregue semanalmente nas clínicas de Medicina Nuclear. Como é produzido apenas nos grandes centros, há maiores custos e dificuldade de acesso nas cidades do interior.

Embora se reconheça o imenso potencial da tecnologia, os altos custos de aquisição e operação exigem uma definição clara da sua utilidade em todos os campos da medicina, estabelecendo os limites do método, cotejada com as outras tecnologias concorrentes, com custos mais acessíveis.

## **2.9 Diagnóstico**

Alguns autores estudaram e testaram o exame PET como ferramenta de diagnóstico diferencial nas artrites. OKABE et al (2011), tentaram estabelecer padrões de captação de FDG-18F específicos para a artrite reumatoide (AR), que fossem capazes diferenciá-la de outras artrites. Setenta pacientes com artrite, sendo

30 com AR, foram incluídos num estudo para tentar estabelecer um padrão de distribuição de FDG-18F. Noventa por cento dos pacientes com AR exibiram hipermetabolismo poliarticular.

ELZINGA et al (2007) compararam as imagens de PET em pacientes com AR, osteoartrite e fibromialgia. No exame realizado os pacientes com fibromialgia não apresentaram áreas de hipermetabolismo articular.

BENDER et al (2001) avaliaram os padrões de metástases para o intestino delgado em 32 pacientes com melanoma metastático confirmado patologicamente. Eles demonstraram que os métodos de imagem mais comumente utilizados, tais como trânsito intestinal e TC convencional, são pouco confiáveis na demonstração de metástases de melanoma para o intestino delgado. A PET, apesar de proporcionar alta sensibilidade e especificidade na detecção de metástases viscerais por melanoma, apresenta baixa acurácia na detecção de metástases linfonodais e de lesões metastáticas pulmonares menores que 10 mm. Todavia, na determinação da extensão do câncer primário de pulmão não de pequenas células, a FDG PET/TC tem mostrado ser um exame melhor que a TC, sendo considerada, para uns, como “indispensável” no planejamento da radioterapia.

De acordo com JONES, a Tomografia por Emissão de Pósitrons se mostra superior em relação às outras técnicas de imagem. Ela é capaz de demonstrar as alterações bioquímicas mesmo que ainda não exista alteração anatômica evidente, permitindo um diagnóstico mais precoce.

ANJOS, D. A. & MOTA L. M. H (2014) concluíram que estudos longitudinais de PET têm se mostrado úteis na avaliação da resposta ao tratamento com anti-TNF (fator de necrose tumoral). Quando realizado precocemente, PET pode prever a resposta terapêutica. Embora o real papel dessa nova técnica na investigação da AR ainda não esteja estabelecido, PET com FDG-18F é uma ferramenta promissora na determinação da atividade e na predição de resposta ao tratamento de pacientes com AR.

De acordo com a Sociedade Brasileira de Biologia, Medicina Nuclear e Imagem Molecular o equipamento PET é usado, em Cardiologia, na detecção do

miocárdio viável ou hibernante, fundamental para justificar intervenções que impeçam novos infartos. As imagens obtidas com o FDG-18 F(flúor-desoxiglicose) são consideradas o padrão-ouro para detecção de miocárdio viável. Em Neurologia, há diversas aplicações, mas o seu uso principal ocorre em casos de epilepsia e demências.

### **3 Análises**

O procedimento adotado antes do exame pelo paciente que recebe uma injeção de pequena quantidade de material radioativo, os radionuclídeo emitem partículas ionizantes, e dependendo do tamanho do tumor o tipo de partícula é utilizado. Depois de percorrer todo o organismo a máquina PET detecta o tecido tumoral. É necessário que durante a realização do exame dentro do tomógrafo o paciente fique sem se mexer durante todo o tempo que dura de 30 a 45 minutos.

A tomografia por emissão de pósitrons oferece um estudo eficiente do paciente afim de, diagnosticar e tratar doenças, sendo de vital importância para um tratamento precoce, tendo uma grande capacidade em detectar a presença de tumores e também capaz de medir a atividade metabólica do tumor.

Os estudos com a PET possibilitou um grande avanço na oncologia. É possível notar com o uso desse exame a facilidade na escolha do procedimento a ser adotado em pacientes com tumores, uma vez, que a tomografia disponibiliza a localização do tumor e o estágio em que o mesmo se encontra, além de, diferenciar os tumores malignos dos tumores benignos.

É notória a significativa contribuição da dupla modalidade FDG PET/TC na detecção e localização da lesão metastática intestinal, a qual poderia ter passado despercebida na TC, ou erroneamente relacionada a estruturas abdominais adjacentes ao intestino delgado no caso do uso isolado da PET. A fusão das imagens fornecidas pela modalidade PET/TC possibilitou determinar o diagnóstico correto e topograficamente preciso de intussuscepção intestinal em paciente com melanoma metastático difuso, submetida a exame de PET/TC para reestadiamento.

#### **4 Considerações Finais**

A partir do estudo realizado conclui-se que o Tomógrafo PET é um dos mais modernos equipamentos utilizados em imagens médicas de última geração, responsável por diagnósticos e seguimentos de alta precisão, realizado pela Medicina Nuclear e aplicado principalmente nas áreas de Oncologia, Neurologia e Cardiologia.

Verificou-se ainda que, as terapias com radioisótopos são uma modalidade altamente segura e eficaz para o tratamento definitivo e adjuvante de diversas patologias. O exame não apenas detecta a presença de tumores, mas é capaz de medir a intensidade luminosa que aparece nas imagens. Por meio da análise dessa intensidade, temos noção da atividade metabólica tumoral: quanto maior, mais intenso é o brilho.

A PET já está disponível no Sistema Único de Saúde, porém ainda de forma limitada, pois o aparelho é de alto custo e ainda falta profissionais qualificados para operarem. Na rede particular o exame tem se expandido e o seu custo gira em torno de R\$3.500,00.

Conclui-se a grande importância da Tomografia por Emissão de Pósitrons para a detecção de tumores, sendo um exame que oferece riscos mínimos aos pacientes, sendo uma modalidade altamente eficiente para médicos e especialistas da área.

## Referência

BENDER GN, MAGLINTE DD, MCLARNEY JH, et al. **Malignant melanoma: patterns of metastasis to the small bowel, reliability of imaging studies, and clinical relevance.** *Am J Gastroenterol.* 2001; 96:2392–400

BRATS, **Boletim Brasileiro de Avaliação de Tecnologias em Saúde.** 2010.

CARDOSO, E. M. **A energia nuclear;** Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, 2012.

CBR, **Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem,** 2014. Disponível em <<http://cbr.org.br/sus-incorpora-exame-pet-ct-para-monitorar-pacientes-com-cancer/>>. Acessado em 25/07/2015.

COSTA, D.C. OLIVEIRA, J.M. AP; BRESSAN, R.A. **PET e SPECT em neurologia e psiquiatria; do básico às aplicações clínicas.** *Rev Bras Psiquiatr* 2001;23(Supl I):4-5

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica – Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas.** Tradução de Paulo Costa Ribeiro, Ênio Frota da Silveira e Marta Feijó Barroso. 13. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1979. 928 p. Título original: Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles.

ELZINGA EH, VAN DER LAKEN CJ, COMANS EF, LAMMERTSMA AA, DJJKMANS BA, VOSKUYL AE. **2-Deoxy-2-[F-18]fluoro-D-glucose joint uptake on positron emission tomography images: rheumatoid arthritis versus osteoarthritis.** *Mol Imaging Biol.* 2007;9:357–60.

FACEY K, BRADBURY I, LAKING G, PAYNE E. **Overview of the clinical effectiveness of positron emission tomography imaging in selected cancers.** *Health Technol Assess.* 2007;11(44): 267p.

FARIA SL, LISBONA R, STERN J, et al. **O uso de FDG PET/ TC scan no planejamento da radioterapia em câncer do pulmão não de pequenas células.** *Radiol Bras.* 2007;40:345–8.

JONES T. **The role of positron emission tomography within the spectrum of medical imaging.** *European Journal of Nuclear Medicine* 1996; 23 (2): 207-211.

Krane, K.S. **Introductory Nuclear Physics.** EUA: John Wiley & Sons, 1988.

LEAL, A. 2014. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2014-04/incorporado-hoje-ao-sus-exame-diagnostica-com-precisao-evolucao-do-cancer>>. Acessado em 25/07/2015.

OKABE T, SHIBATA H, SHIZUKUISHI K, Yoneyama T, INOUE T, TATEISHI U. **F-18 FDG uptake patterns and disease activity of collagen vascular diseases-associated arthritis.** *Clin Nucl Med.* 2011;36:350–4.

OKUNO, E. **Efeitos biológicos das radiações ionizantes**; Estudos Avançados, São Paulo, 2010.

PEREIRA, E.P.M. DA SILVA, A.A. GOMES, M.C.F. SILVA, T.S. DA SILVA, G.A. HESPANHOL, W.T. FULLY, F.L. **O uso do Efeito Compton nos diagnósticos por imagem**, Rio de Janeiro, 2013.

PRABHAKAR HB, SAHANI DV, FISCHMAN AJ, et al. **Bowel hot spots at PET-CT. Radiographics.** 2007; 27:145–59.

RAMOS 2015, Disponível em:

<<http://www.oncoguia.com.br/site/interna.php?cat=86&id=472&menu=2>>. Acessado em 18/06/2015.

REINHARDT MJ, JOE AY, JAEGER U, et al. **Diagnostic performance of whole body dual modality 18FFDG PET/CT imaging for N- and M-staging of malignant melanoma: experience with 250 consecutive patients. J Clin Oncol.** 2006;24:1178–87.

ROBIOTTA, C. CHOW. **A tomografia por emissão de pósitrons: uma nova modalidade na medicina nuclear brasileira** Rev Panam Salud Publica vol.20 n.2 3 Washington Aug./Sep. 2006.

SCAFF, L. A.M. **Física da Radioterapia**; São Paulo, 1997.

SILVA, DOMICILIANO CORREIA MARQUES DA. **"Efeito Compton"**; *Brasil Escola*. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/fisica/efeito-compton.htm>>. Acessado em 10/09/2015.

TERRA FILHO, M. et al. Tomografia por emissão de pósitrons (PET) no tórax: resultados preliminares de uma experiência brasileira. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, DF, v.26, n.4, p. 183-188, jul. a ago. 2000.

THRALL, J. H.; ZIESSMAN, H. A.; **Medicina nuclear**. 2a Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

TURKINGTON, T. **Introduction to PET instrumentations.** J. Nucl. Med. Technol., v.29, p.4-11, 2001.

XAVIER, A. M. GAIDANO, E. **Princípios Básicos de Segurança e Proteção Radiológica**; Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2010.