

Universidade de São Paulo  
Instituto de Física

**Modelagem de sistema de detecção para mamografia  
por emissão de pósitrons utilizando detectores  
cintiladores monolíticos**

Daniel Alexandre Baptista Bonifácio

*Tese de doutorado apresentada ao Instituto de  
Física para a obtenção do título de Doutor em  
Ciências.*

Orientador:

Prof. Dr. Maurício Moralles

Banca examinadora:

Prof. Dr. Maurício Moralles (CNEN/IPEN-SP)

Prof. Dra. Cecil Chow Robilotta (IF/USP)

Prof. Dr. Nilberto Heder Medina (IF/USP)

Prof. Dra. Lorena Pozzo (CNEN/IPEN-SP)

Prof. Dr. Martin Eduardo Poletti (FFLCRP/USP)

**São Paulo - 2011**

Este trabalho contou com apoio financeiro do CNPq e da CAPES.

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação**  
**do Instituto de Física da Universidade de São Paulo**

Bonifácio, Daniel Alexandre Baptista

Modelagem de sistema de detecção para mamografia por emissão de pósitrons utilizando detectores cintiladores monolíticos . – São Paulo, 2011.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.  
Instituto de Física – Depto. de Física Nuclear / IPEN

Orientador: Prof. Dr. Maurício Moralles

Área de Concentração: Física

Unitermos: 1. FÍSICA MÉDICA; 2. FÍSICA NUCLEAR; 3.  
RADIAÇÃO IONIZANTE 4. FÍSICA COMPUTACIONAL; 5. MÉTODO  
DE MONTE CARLO

USP/IF/SBI-078/2011

Aos meus pais,

*Valdir e Lúdia.*

Aos meus irmãos,

*Adriana e Fábio.*

Aos meus sobrinhos,

*Juliana e Wladimir.*



# Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Maurício Moralles, pela orientação, amizade, dedicação e apoio.

À Dra. Lidia Vasconcellos, pelo suporte e revisão do texto desse trabalho.

Às amigas, Juliana Dias Gonçalves e Denise Simões Moreira, pela revisão do texto desse trabalho.

Aos Profs., Sergey Vinogradov e Yuri Musienko, pelas discussões sobre a modelagem do MAPD-3N.

Aos colegas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), pela amizade e incentivo na realização deste trabalho.

À minha família, pelo carinho e presença motivadora.

À amiga Ana Beatriz De Oliveira Lewgoy Laser, por ter me dado abrigo durante minha conturbada mudança ao Rio de Janeiro.

Ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo, pela oportunidade para a realização deste trabalho.

Ao CNPq e à CAPES, pelo apoio financeiro.

# Ringraziamenti

Al Professor Alberto Del Guerra, per la opportunità che mi ha dato e la fiducia in mio lavoro.

A Nicola Belcari, per la disponibilità e il supporto durante lo sviluppo di questa ricerca.

A Sara Vecchio, Sascha Moehrs e Francesca Attanasi, per l'aiuto nelle ricostruzioni di immagini di Q-PEM/DoPET.

A Sebnem Ertuk, per le interessanti discussioni sul codice di GATE.

Un ringraziamento particolare deve essere riservato al mio amico Giancarlo Sportelli, la cui collaborazione nelle ricostruzioni di immagini del PEM modellato è stata importantissima.

A tutti i membri del gruppo FIIG della Università di Pisa, per l'amicizia e l'aiuto durante il mio soggiorno a Pisa.

Alla Gelateria De' Coltelli, per difendermi del caldo estivo a Pisa.



# *Resumo*

O objetivo deste trabalho foi propor, caracterizar e avaliar, por meio de simulações computacionais, um sistema de detecção de um tomógrafo PET (“Positron Emission Tomography”) dedicado para pequenas regiões. Os principais fatores considerados para a modelagem do sistema foram: resolução energética, resolução espacial, sensibilidade de detecção e custo do sistema.

O pacote GATE (“Geant4 Application for Tomographic Emission”), baseado no código de transporte de radiação Geant4, foi escolhido para as simulações. Como forma de acompanhar os avanços da tecnologia PET, o tomógrafo Q-PEM/DoPET, da Universidade de Pisa - Itália, foi simulado e um modelo óptico analítico foi proposto para comparação entre os resultados simulados e experimentais. Assim, a utilidade do modelo óptico foi demonstrada, pois o mesmo evita o tempo de computação excessivamente longo de uma simulação com os processos ópticos do GATE ativados.

Foi feita a caracterização de um bloco detector que consiste de um cristal cintilador monolítico acoplado a uma matriz de fotodetectores, baseados na tecnologia das fotomultiplicadoras de silício. A posição da interação do fóton gama dentro do cristal foi determinada usando um método baseado na estimativa de parâmetros de um modelo que descreve a distribuição da intensidade dos sinais dos fótons ópticos coletados pela matriz de fotodetectores, de acordo com o local da interação. O método possui a capacidade de determinação da profundidade da interação dentro do cristal, o que diminui consideravelmente os erros de paralaxe. O bloco detector proposto também pode ter aplicação em outras áreas da física e afins que fazem uso da instrumentação nuclear e que necessitam de detectores sensíveis à posição.

Foi proposto um sistema de detecção para um tomógrafo PET com aplicação na Mamografia por Emissão de Pósitrons - PEM (“Positron Emission Mammography”). O conceito proposto tem o potencial para aperfeiçoar a capacidade da tecnologia PET de visualizar, quantificar e caracterizar tumores de mama. O tomógrafo foi avaliado, onde os parâmetros de desempenho para uma fonte pontual de  $^{22}\text{Na}$  no centro do campo de visão e distância entre planos detectores de 10 cm foram: resolução energética em 511 keV de 12,1(3)%, resolução espacial 3D de  $1,34(1) \times 1,26(1) \times 2,04(2) \text{ mm}^3$  e sensibilidade de detecção de 8(1)%. Os resultados mostram que o conceito proposto possui desempenho compatível aos tomógrafos já existentes, além de ter um custo menor, por ser baseado em cristais cintiladores monolíticos.





# *Abstract*

The aim of this work was to propose, to characterize and to evaluate, by means of computational simulations, a detection system of a dedicated PET (“Positron Emission Tomography”) tomograph. The main factors considered for the system modeling were: energetic resolution, spatial resolution, detection sensitivity and system cost.

The package GATE (“Geant4 Application for Tomographic Emission”), based on Geant4 radiation transport code, was chosen for the simulations. To follow the advances on PET technology, the Q-PEM/DoPET tomograph, from University of Pisa - Italy, was simulated and an analytical optical model was proposed for comparison between simulated and experimental results. Thus, the usefulness of the optical model was demonstrated, since it avoids the excessively long computation time when activating the optical processes in GATE.

A block detector made of a monolithic scintillator crystal coupled to a photodetector array based on silicon photomultiplier technology was characterized. The interaction position of gamma radiation inside the crystal was determined using a method based on estimating parameters of a model which describes the signal distribution of the optical photons collected by the photodetector array. The method has the ability of determining the depth of interaction inside the crystal, which decreases considerably parallax errors. The proposed block detector also can be used in other applications of nuclear instrumentation that require sensitive position detectors.

A detection system of a PET tomograph was proposed to be applied in Positron Emission Mammography - PEM. The proposed design has the potential to improve the PET ability to visualize, quantify and characterize breast tumors. The tomograph performance was evaluated and the following parameters were obtained from an acquisition of a  $^{22}\text{Na}$  point source in the center of the field view and for a distance of 10 cm between the detector planes: energy resolution at 511 keV of 12,1(3)%, 3D spatial resolution of  $1,34(1) \times 1,26(1) \times 2,04(2) \text{ mm}^3$  and detection sensitivity of 8(1)%. The results show that the performance of the proposed design is similar to existing tomographs, in addition to have a lower cost due to the employment of monolithic crystals.



## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

