



**AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE PARTÍCULAS DE OURO NA DOSE ABSORVIDA  
EM TECIDO MOLE UTILIZANDO DOSIMETRIA COM GEL POLIMÉRICO**

**Luciana Caminha Afonso**

**Tese apresentada como parte  
dos requisitos para obtenção do Grau  
de Doutor em Ciências na Área  
de Tecnologia Nuclear - Aplicações**

**Orientadora:  
Profa. Dra. Linda V. E. Caldas**

**São Paulo  
2011**



INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES  
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE PARTÍCULAS DE OURO NA DOSE ABSORVIDA  
EM TECIDO MOLE UTILIZANDO DOSIMETRIA COM GEL POLIMÉRICO**

LUCIANA CAMINHA AFONSO

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações.

Orientadora:  
Profa. Dra. LINDA V.E. CALDAS

SÃO PAULO

2011

## AGRADECIMENTOS

À Dra. Linda V. E. Caldas, pela orientação nesta jornada acadêmica desde a Iniciação Científica e pelos conselhos e incentivos tanto na vida profissional como na vida pessoal.

À Dra. Maria da Penha Albuquerque Potiens e ao Dr. Vítor Vivolo, pelas discussões e sugestões desde o início da minha vida acadêmica.

À Sra. Donata C. O. Zanin, pela assistência nos assuntos administrativos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo auxílio financeiro durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Comissão de Pós-Graduação do IPEN, por possibilitar o desenvolvimento deste projeto.

Ao Helmholtz Center Munich, pela infra-estrutura oferecida para o desenvolvimento deste projeto de cooperação.

Ao Dr. Christoph Hoeschen, ao Dr. Uwe Oeh e ao Dr. Felix Schöfer, pela co-orientação no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas do Helmholtz Center Munich, pelo companheirismo e discussões científicas durante a execução deste trabalho.

Aos velhos amigos e aos amigos que se revelaram ao longo dos últimos anos: Alessio Mangiarotti, Aline Rodrigues Ajala, Anahí Philippart, Daniele Nogueira Milani, Diana Renata Gonçalves Gama, Elisângela Moura Linares, Fernanda Yamashitafuji, João Pedro Kerr Catunda, Leandro Gibelli Molon, Lélia Maria Luzia, Maria Antonia Gibelli Molon, Marilia Gabriela Oséas Quadrado, Monika Keusch e Thyago Fressati Mangueira.

Aos meus familiares, João Afonso, Vera Lucia Caminha Afonso e Guilherme Caminha Afonso, pelo amor e carinho durante o percurso da vida e pelo suporte emocional e financeiro durante a construção da carreira acadêmica.

Ao meu namorado, Thomas Wieser, pelo amor, paciência, dedicação e companheirismo mesmo nos momentos mais estressantes.

# ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE PARTÍCULAS DE OURO NA DOSE ABSORVIDA EM TECIDO MOLE UTILIZANDO DOSIMETRIA COM GEL POLIMÉRICO

Luciana Caminha Afonso

## RESUMO

A presença de material de alto número atômico adjacente ao tecido mole aumenta localmente a dose absorvida pelo tecido quando submetido à radiação. Este efeito ocorre devido aos fotoelétrons ejetados do material de alto número atômico. Dosímetros de gel polimérico com partículas de ouro foram utilizados para investigar este efeito. Foram realizados cálculos analíticos para estimar o aumento de dose e simulações com o método de Monte Carlo. A irradiação de amostras de gel polimérico (GP) puro e com 0,005 gAu/gGP utilizando um feixe de raios X produzido por um potencial de 150 kV filtrado com 4 mmAl e 5 mmCu resultou em uma dose absorvida pelas amostras com ouro aproximadamente 20% maior que a dose absorvida pelas amostras de gel polimérico puro. Os cálculos analíticos e a simulação com o método de Monte Carlo resultaram em um aumento de aproximadamente 30% na dose absorvida.

# STUDY OF THE INFLUENCE OF GOLD PARTICLES ON THE ABSORBED DOSE IN SOFT TISSUE USING POLYMER GEL DOSIMETRY

Luciana Caminha Afonso

## ABSTRACT

The presence of high-Z material adjacent to soft tissue, when submitted to irradiation, enhances locally the absorbed dose in these soft tissues. Such effect occurs due to the outscattering of photoelectrons from the high-Z material. Polymer gel dosimeters have been used to investigate this effect. Analytic calculations to estimate the dose enhancement and Monte Carlo simulations have been performed. Samples containing polymer gel (PG) with 0.005 gAu/gPG and pure polymer gel have been irradiated using an X-rays beam produced by 150 kV, filtered with 4 mm Al and 5 mm Cu, which resulted in an approximately 20% higher absorbed dose in the samples with gold in comparison to those with pure polymer gel. The analytic calculations and the Monte Carlo simulation resulted in a dose enhancement factor of approximately 30%.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
<b>3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	<b>11</b>
3.1 Radiações Ionizantes.....	11
3.2 Interação da Radiação com a Matéria.....	13
3.2.1 Interação de Fótons com a Matéria .....	13
3.2.1.1 Espalhamento Compton .....	15
3.2.1.2 Efeito Fotoelétrico .....	19
3.2.1.3 Coeficientes de Transferência de Energia e de Absorção de Energia .....	25
3.2 Dosimetria com Gel Polimérico .....	27
3.3.1 Histórico.....	27
3.3.2 Mecanismo Químico .....	28
3.4 Ressonância Magnética Nuclear.....	31
3.4.1 Princípios Básicos .....	31
3.4.2 Relaxação Longitudinal .....	33
3.4.3 Relaxação Transversal.....	34
3.4.4 Avaliação dos Dosímetros de Gel Polimérico utilizando Ressonância Magnética Nuclear (NMR).....	36
3.5 Método de Monte Carlo.....	38
3.5.1 Números Aleatórios Uniformemente Distribuídos .....	38
3.5.2 O Método de Transformação.....	39
3.5.3 O Método de Aceitação-Rejeição .....	40
3.5.4 Aplicações do Método de Monte Carlo .....	41
<b>4 MATERIAIS</b> .....	<b>43</b>
<b>5 METODOLOGIA E RESULTADOS</b> .....	<b>48</b>
5.1 Caracterização do Dosímetro de Gel Polimérico.....	48
5.1.1 Produção do Dosímetro de Gel Polimérico.....	48
5.1.2 Avaliação do Gel Polimérico com Ressonância Magnética Nuclear .....	49

5.1.3 Dependência do Dosímetro em Relação aos Intervalos Produção-Irradiação e Irradiação-Avaliação .....	53
5.1.4 Comportamento Dosimétrico para Fótons .....	57
5.2 Cálculo do Alcance de Elétrons .....	70
5.3 Experimentos Preliminares com Folhas de Ouro .....	72
5.4 Feixes de Raios X que aumentam o Efeito Fotoelétrico .....	78
5.5 Cálculo dos Coeficientes de Absorção Mássica de Energia .....	85
5.5.1 Interpolação dos Coeficientes do NIST .....	86
5.5.2 Cálculo dos Coeficientes de Absorção Mássica de Energia para o Gel Polimérico Puro e para o Gel Polimérico com Ouro .....	90
5.6 Cálculo da Dose Absorvida .....	93
5.7 Simulações por Método de Monte Carlo .....	95
5.8 Gel Polimérico com Microesferas de Ouro .....	102
5.8.1 Irradiação com o Espectro de Raios X do Feixe 50* .....	102
5.8.2 Irradiação com o Espectro de Raios X do Feixe 150* .....	105
<b>6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>109</b>
<b>7 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>112</b>
<b>Anexo: Trabalhos publicados em anais de congressos .....</b>	<b>116</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Radioterapia está entre os três principais métodos de tratamento de câncer, sendo os outros dois a cirurgia e quimioterapia. Muitas especialidades médicas contam principalmente com o conhecimento clínico e a experiência dos especialistas; entretanto, a radioterapia, devido à utilização da radiação ionizante no tratamento do câncer, depende fortemente da tecnologia e do empenho dos diversos profissionais envolvidos no entendimento da física subjacente. Os avanços da radioterapia são baseados essencialmente na física da interação da radiação com a matéria e no desenvolvimento tecnológico de equipamentos.

Desde a descoberta dos raios X por Wilhelm C. Roentgen em 1895, os raios X começaram a ser utilizados em medicina diagnóstica e terapêutica, tendo Emil A. Grubbe como pioneiro em 1896. No mesmo ano, Pierre e Marie Curie descobriram o Rádio 226, introduzindo-o em terapia. Nesta época, os cirurgiões passaram a utilizar as radiações no tratamento de tumores malignos, acreditando atuarem por ação cáustica nos tecidos. A falta de conhecimentos técnicos e científicos levou ao aparecimento de inúmeras e graves complicações levando as aplicações terapêuticas ao descrédito.

Os progressos da Física Médica na década de 30 permitiram quantificar as doses de radiação e estabelecer comparações entre quantidade de radiação e efeito biológico. Essas comparações eram provenientes de observações clínicas que relacionavam o efeito das radiações sobre os tecidos com o tempo de administração.

A radioterapia é um método capaz de destruir células tumorais, empregando feixes de radiações ionizantes. Uma dose pré-calculada de radiação é aplicada a um volume de tecido que engloba o tumor, buscando erradicar todas as células tumorais, com o menor dano possível às células sadias circunvizinhas, à custa das quais se fará a regeneração da área irradiada. Portanto, o principal desafio em radioterapia é depositar uma alta dose de radiação no tumor sem exceder a tolerância do tecido saudável.



A resposta dos tecidos às radiações depende de diversos fatores, tais como a sensibilidade do tecido à radiação, sua localização e oxigenação, assim como a qualidade e a quantidade da radiação e o tempo total em que ela é administrada. A velocidade da regressão tumoral é proporcional ao grau de radiosensibilidade do tecido onde o tumor está localizado. A maioria dos tumores radiosensíveis são radiocuráveis. Entretanto, alguns tumores se disseminam independentemente do controle local; outros apresentam sensibilidade tão próxima à dos tecidos normais, que esta impede a aplicação da dose de erradicação, originando, então, uma limitação em radioterapia. Os esforços para superar esta limitação focam em métodos capazes de “moldar” a distribuição de dose em torno do volume tumoral por meio de aperfeiçoamento das técnicas de imagem e planejamento do tratamento, aproveitando a flexibilidade de técnicas avançadas como IMRT (*Intensity Modulated Radiation Therapy*). A curabilidade local só é atingida quando a dose de radiação aplicada é letal para todas as células tumorais; sem ultrapassar, entretanto, a tolerância dos tecidos sadios.

Tratamentos em radioterapia são baseados na emissão de radiação ionizante por meio de equipamentos de raios X, aceleradores de elétrons e irradiadores gama e beta com fontes radioativas. Esses equipamentos são usados como fontes externas, mantendo distâncias da pele que variam de 1 centímetro a 1 metro (teleterapia). Estas técnicas constituem a radioterapia clínica e se prestam para tratamento de lesões superficiais, semi-profundas ou profundas, dependendo da qualidade da radiação gerada pelo equipamento.

Os isótopos radioativos (cobalto, célio, irídio etc.) ou sais de rádio são utilizados sob a forma de tubos, agulhas, fios, sementes ou placas e geram radiações, habitualmente gama, de diferentes energias, dependendo do elemento radioativo empregado.

O tratamento radioterápico apresenta efeitos colaterais, que são normalmente bem tolerados, desde que as doses pré-calculadas de radiação aplicadas ao tumor sejam eficientemente atingidas.

Os efeitos colaterais do tratamento radioterápico podem ser classificados em imediatos e tardios. Os efeitos imediatos são observados nos tecidos que apresentam maior capacidade proliferativa, como as gônadas, a epiderme, as mucosas dos trato digestivo, urinário e genital, e a medula óssea.

Eles ocorrem somente se estes tecidos estiverem incluídos no campo de irradiação e podem ser potencializados pela administração simultânea de medicamentos quimioterápicos. Já os efeitos tardios são raros e ocorrem quando as doses de tolerância dos tecidos sadios são ultrapassadas. Os efeitos tardios manifestam-se por atrofias e fibroses. Menos frequentemente, são observadas também alterações de caráter genético e o desenvolvimento de outros tumores malignos.

O desenvolvimento da Física e da Engenharia Nuclear proporcionaram um grande avanço na produção de materiais radioativos obtidos artificialmente, propiciando novas fontes (entre elas o cobalto 60) com diferentes características para uso em terapias.

No caso da radioterapia com fótons, por exemplo, a dose é concebida a partir da energia depositada por elétrons originados de interações físicas variadas entre os fótons e o tecido tumoral. A compreensão mais aprofundada destas interações trouxe as bases teóricas para o desenvolvimento de sistemas de planejamento de tratamentos capazes de concentrar grandes doses de radiação em um determinado volume alvo, protegendo os tecidos sadios e lesando ao máximo os tumorais. (INCA website; Schaberle & Silva website; Podgorsak, 2005)

Uma alternativa seria “ajustar” a probabilidade de interação do fóton com o tumor, possibilitando um aumento seletivo da dose no volume do tumor durante a irradiação. Levando em consideração que a probabilidade de ocorrer a absorção de um fóton por efeito fotoelétrico aumenta drasticamente com o número atômico do meio, a inserção de uma substância de alto número atômico no tumor resultaria no aumento da fração de energia transmitida do fóton incidente para o tumor, sem aumentar o dano no tecido saudável próximo ao tumor.

Esta alternativa poderia ser explorada por meio da introdução de contrastes, que é um conceito muito bem estabelecido há muitos anos no campo de diagnóstico por imagem. Agentes de contraste são amplamente utilizados em combinação com técnicas como Tomografia Computadorizada (CT) e Ressonância Magnética Nuclear (NMR). Contudo, estudos acerca dos riscos na utilização destes contrastes encontraram danos maiores nos tecidos após procedimentos de diagnóstico por imagem utilizando contrastes (Norman *et al*,

## 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:

