

## **CARACTERIZAÇÃO DE QUALIDADES DE FEIXES DE RAIOS-X PARA USO EM RADIOLOGIA ODONTOLÓGICA**

**Maria da Conceição de F. FRAGOSO (1); Mércia L. de OLIVEIRA (2); Marcus Aurélio P.  
dos SANTOS (3)**

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco (CEFET-PE);  
Centro Regional de Ciências Nucleares (CRCN / CNEN – PE);  
Av. Professor Luiz Freire, 200 50740-540 Recife, PE  
(081)3797-8000, [mariacc05@yahoo.com.br](mailto:mariacc05@yahoo.com.br)

(2) Centro Regional de Ciências Nucleares (CRCN / CNEN – PE), [mercial@cnen.gov.br](mailto:mercial@cnen.gov.br)

(3) Centro Regional de Ciências Nucleares (CRCN / CNEN – PE), [masantos@cnen.gov](mailto:masantos@cnen.gov)

### **RESUMO**

Dentre as aplicações de fontes artificiais de radiação, as que mais contribuem para a exposição da população correspondem ao radiodiagnóstico médico e odontológico. A busca por padronização de feixes de radiação utilizados em radiologia, quer para estabelecer características, aspectos ou propriedades de equipamentos, quer para disponibilizar feixes de radiação para fins de estudos físicos ou médicos, tem conduzido laboratórios de metrologia a oferecer séries de condições de irradiações bem definidas, comumente chamadas de qualidades de radiação. Conjuntos de qualidades de feixes raios-X têm sido caracterizados e padronizados em diversos campos de aplicação da radiação ionizante, tais como radioproteção, radioterapia e radiologia. Porém, no campo de radiologia, pouca ênfase é dada na área odontológica. Busca-se, neste contexto, somar aos conjuntos de qualidades de feixes de radiação já existentes uma série para utilização em tal área e que poderá ser utilizada, dentre outras aplicações, para irradiações de dosímetros e instrumentos para fins de estudos científicos e serviços. O desenvolvimento do projeto aqui elaborado vem contribuir para a implantação de programas de garantia de qualidade que têm como objetivo a produção de imagens diagnósticas com qualidade suficientemente elevada, obtidas com o menor custo possível e mínima exposição do paciente à radiação ionizante.

**Palavras-chave:** Raios-X, Odontologia, Qualidades, Espectrometria, Metrologia

## 1. INTRODUÇÃO

A medicina é a principal causa de exposição do ser humano às fontes artificiais de radiação. Dentre as aplicações de fontes artificiais de radiação, as que mais contribuem para a exposição da população correspondem ao radiodiagnóstico médico e odontológico (UNSCEAR, 1993). O uso da radiação para diagnóstico por imagem requer certos cuidados no que diz respeito às doses recebidas pelos pacientes. Estas exposições revelam a necessidade de um controle de dose, tanto dos indivíduos ocupacionalmente expostos quanto para os pacientes.

Organizações Internacionais e Nacionais recomendam Normas de Segurança e Proteção Radiológica visando à segurança daqueles que por algum motivo são expostos à radiação ionizante. Uma das organizações internacionais mais importantes é Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) que através da sua publicação 60, estabeleceu que nenhuma prática que envolva exposição à radiação ionizante deve ser adotada a menos que produza benefício suficiente aos indivíduos de modo a compensar todo o detrimento causado por esta exposição (ICRP, 1990). No Brasil, o Ministério da Saúde por intermédio da Portaria Nº 453, estabeleceu as Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico e Odontológico e a utilização dos equipamentos de raios-x nestas áreas, incluindo programas de garantia de qualidade, visando à defesa da saúde dos pacientes, profissionais e população em geral (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1998).

Os Programas de Garantia de Qualidade são importantes ferramentas para a redução dos riscos ao homem associados ao emprego dos raios-x, pois nos permite, com segurança, produzir imagens diagnósticas com qualidade suficientemente elevada assegurando um diagnóstico mais preciso, com o menor custo possível e mínima exposição do paciente à radiação ionizante.

No campo da Radiologia Odontológica observou-se um aumento significativo da utilização de equipamentos de raios-x por profissionais desta área e conseqüentemente do número de radiografias dentárias. Atualmente tem-se notado uma preocupação na proteção radiológica e no controle de qualidade, tanto em relação aos critérios de imagem quanto aos parâmetros do próprio equipamento odontológico (MOTA, ARAÚJO, PEIXOTO, DREXLER, 1994). Isto tem levado pesquisadores a realizarem avaliações dos parâmetros da técnica radiológica que influenciam na dose e na imagem, levando ao desenvolvimento de instrumentos capazes de avaliar tais parâmetros (MELO, 2002).

O controle das condições técnicas de uso e operação dos equipamentos de raios-x utilizados na radiologia depende das características metrológicas e da calibração da instrumentação que é utilizada para avaliar esses equipamentos (SOUZA, 1996). Para estabelecer características, aspectos ou propriedades destes equipamentos, laboratórios de metrologia vem oferecendo uma série de condições de irradiações bem definidas, comumente chamadas de *Qualidades de Radiação*.

A qualidade de um feixe de raios-X pode ser especificada em termos de seu espectro ou de suas características de atenuação no meio de referência. Os espectros de raios-X podem ser obtidos diretamente por meio de sistemas de espectrometria. Em radiologia, o conhecimento do espectro de raios-X é necessário para se entender os vários estágios da produção de uma imagem diagnóstica, com o objetivo de reduzir a dose para o paciente e otimizar a qualidade da imagem (POTIENS, 1999).

O presente trabalho tem por objetivo geral caracterizar qualidades de feixes de raios-X para utilização no campo da radiologia odontológica. Os objetivos específicos para esta etapa do trabalho foram:

- Determinar a filtração inerente do sistema odontológico com kV e mA variáveis desenvolvido no CRCN;
- Realizar estudo de medidas de camada semi-redutora (CSR) em aparelhos de raios-x odontológicos comerciais e no sistema odontológico variável;
- Avaliar os espectros obtidos no sistema odontológico variável e nos aparelhos de raios-x odontológicos comerciais para determinação do kVp.

O desenvolvimento deste projeto será de primordial importância na área de metrologia, pois preencherá uma lacuna importante na padronização de feixes de raios-X para a área da radiologia odontológica visando reduzir a dose para o paciente e otimizar a qualidade da imagem obtida.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 – Espectrometria de raios-x

A medida direta de um feixe de raios-x por um detector do estado sólido é conhecida como uma distribuição de pulsos, que representa a quantidade de pulsos coletados pelo detector distribuídos no número de canais do analisador multicanal. Quando o multicanal é calibrado com uma fonte de referência, tem-se a energia correspondente a cada canal, ou seja, a distribuição de pulsos por energia.

As medidas espectrométricas exigem que sejam observados alguns pontos, de modo a não comprometer os resultados experimentais.

Altas taxas de contagem devem ser evitadas de modo a eliminar o “empilhamento” que ocorre quando dois fótons de energias  $E_1$  e  $E_2$  interagem com o cristal e são “vistos” como um único fóton de energia  $E_1 + E_2$ , isto ocorre devido ao tempo do detector de formação do pulso e retorno ao estado normal.

Quando a fonte de radiação tem uma atividade relativamente alta, a taxa de contagem medida pelo detector pode ser diminuída com o aumento da distância fonte-detector ou com o uso de *pinholes*. No caso específico da espectrometria de raios-X, também se pode diminuir a corrente aplicada ao tubo e, no caso da determinação da energia máxima do feixe, utilizar filtros de alumínio, cobre, etc. ( MATSCHEKO, 1988).

A determinação do espectro de energia de fótons fornece um conhecimento preciso do fluxo de radiação emitida por um aparelho de raios X, que pode ser convertida em uma medida dosimétrica. Seu conhecimento possibilita o entendimento dos processos de aquisição de uma imagem radiológica, podendo ser útil, por exemplo, na dosimetria de pacientes, cálculos de radioproteção e otimização da qualidade de imagem, além da determinação do potencial aplicado ao tubo de raios-X e em estudos de variação da filtração total. Um espectro para um dado valor de kVp e filtração total será diferente para diferentes geradores (devido à influência da composição do anodo, janela do tubo, ângulo do alvo, etc.) ou mesmo para tubos semelhantes (NOGUEIRA, 1997).

Para determinação do espectro de fótons verdadeiros faz-se necessário a correção da distribuição de altura de pulsos obtida por meio de um método denominado STRIPPING.

### 2.2 – Qualidades de Radiação

#### 2.2.1 – Camada Semi-Redutora (CSR)

A CSR é definida como a espessura de um determinado material que atenua o feixe de radiação de uma amplitude tal que a grandeza de radiação é reduzida à metade do seu valor inicial (ICRU, 1970).

Em medidas de CSR de feixes de radiação faz-se necessário o uso de um sistema de colimação, com finalidade de reduzir o tamanho de campo, para minimizar a influência da radiação espalhada proveniente do absorvedor sobre a câmara de ionização, que poderia acarretar um aumento desta CSR. (NCRP, 1981). Por outro lado, o campo de radiação deve ser suficiente para envolver todo o volume sensível do detector (condição de boa geometria).

A CSR também pode ser utilizada na determinação de filtração inerente de um equipamento de raios-X. A Tabela 1 mostra a relação entre o valor obtido para a primeira CSR, sem utilização de filtros adicionais em um feixe de raios X de 60kV e o valor de sua filtração inerente total (ISO, 1996).

A 2ª CSR é definida como a espessura do material absorvedor necessária para reduzir à metade a intensidade da radiação emergente da 1ª CSR. Já o Coeficiente de homogeneidade é definido como a razão entre a 1ª e a 2ª CSR.

**Tabela 1 - Relação entre a CSR e a filtração inerente de um equipamento de raios X  
operado a 60 KV e sem filtros adicionais.**

CSR (mmAl)	Filtração inerente total (mmAl)
0,33	0,25
0,38	0,30
0,54	0,40
0,67	0,50
0,82	0,60
1,02	0,80
1,15	1,00
1,54	1,50
1,83	2,00
2,11	2,50
2,35	3,00
2,56	3,50

### 2.2.2 – Qualidades de Feixes de Raios X

A qualidade de um feixe de raios-X pode ser especificada em termos da 1ª e 2ª CSR ou coeficiente de homogeneidade, da tensão aplicada ao tubo e da filtração total.

A metrologia em radiologia diagnóstica depende de muitos parâmetros físicos, visto que a resposta dos instrumentos de medida, geralmente, possui forte dependência com a energia, em especial na faixa de poucos KVp a 150 kVp. Assim a implantação de feixes padronizados para radiologia diagnóstica visa oferecer uma possibilidade consistente de calibração de cada tipo de instrumento com um espectro de radiação o mais próximo possível do feixe utilizado na prática clínica (PEIXOTO, 2002).

Conjuntos de qualidades de feixes de raios-X, na área de radiologia diagnóstica, têm sido caracterizados por laboratório de metrologia. Como exemplo temos o laboratório primário alemão PTB, que inclui no seu programa de calibração as qualidades de radiação segundo o padrão DIN 6872 (DIN, 1983). A Tabela 2 mostra algumas qualidades.

**Tabela 2 -Qualidades de feixes de raios X não atenuados da DIN 6872**

Qualidade	Tensão Nominal (kV)	CSR (mmAl)	Filtração Total (mmAl)
QI	50	1,81	2,5
QII	60	2,13	2,5
QIII	70	2,45	2,5
QIV	81	2,78	2,5
QV	90	3,10	2,5
QVI	102	4,15	2,5
QVII	125	4,50	2,5

### 3. MATERIAIS UTILIZADOS

A seguir serão descritos os materiais/equipamentos necessários ao desenvolvimento deste trabalho:

#### A. Equipamentos de raios-X:

1. Odontológico com kV e mA variáveis;
2. Odontológicos disponíveis comercialmente (Dois Rhos de 80 kVp e um Dabi Atlante de 70 kVp);



Figura 1 – Sistema de raios-X monofásico variável.

#### B. Sistema de Dosimetria:

1. Câmara de ionização acoplada a eletrômetro adequado.

#### C. Sistema Espectrométrico:

1. Detector de CdTe, da Amptek;
2. Amplificador e Fonte;
3. Analisador Multicanal com software de aquisição de dados e pinhole de tungstênio/chumbo.

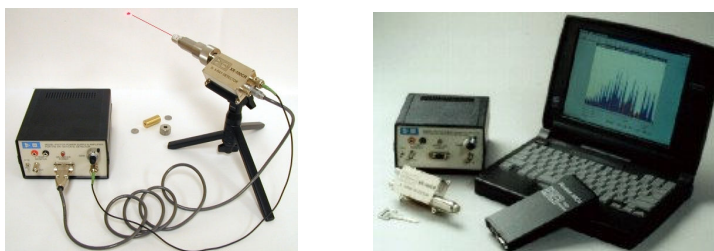


Figura 2 – Sistema de Espectrometria.

#### D. Sistemas auxiliares e acessórios importantes:

1. Setup de calibração para uso dos equipamentos de raios-X;
2. Termômetros de mercúrio, higrômetro e barômetro para controle da temperatura, umidade e pressão ambientais;
3. Filtros de pureza atômica;
4. Fantoma de dente;
5. Computador com software de simulação;
6. Lasers, trena, garras e pinças;
7. Fontes padrão para calibração ( $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ).

#### 4. METODOLOGIA

Este trabalho está sendo desenvolvido no Laboratório de raios-X Odontológico da Divisão de Metrologia do Centro Regional de Ciência Nucleares (CRCN).

Como os equipamentos de raios-x odontológicos possuem kV e mA fixos, foi desenvolvido neste projeto um equipamento que possui como principal característica a possibilidade de variação tanto da corrente como da tensão aplicada ao tubo. A partir de um aparelho de raios-x monofásico portátil, marca Germano Vieira Aparelhos Hospitalares (GV), houve uma adaptação para que este se comportasse como um aparelho de raios-X odontológico. Este equipamento possui dois modos de operação com as características descritas na Tabela 3.

Tabela 1- Características do equipamento de raios X monofásico variável.

PARÂMETRO	MODO RADIOGRÁFICO	MODO FLUOROSCÓPICO
Tensão de Operação (kV)	20 a 75 kV	20 a 75 kV
Corrente do Tubo (mA)	1 a 4 mA	0,4 a 1 mA
Tempo de Exposição (s)	0,1 a 8 s	contínuo

A filtração inerente do sistema odontológico variável foi obtida a partir de medidas de CSR, sem filtração adicional, conforme descrito na literatura (TAYLOR, 1959). Foi utilizado o sistema de medidas da Radcal constituído por uma câmara de ionização cilíndrica, não selada, com 6cm<sup>3</sup> de volume sensível, modelo 10X5-6, um conversor (pré-amplificador), modelo 9060, e um eletrômetro, modelo 9015.

A partir dos equipamentos odontológicos comerciais (dois Rhos de 80 kVp e um Dabi Atlante de 70kVp) foram obtidas as CSRs utilizando o sistema de medidas descrito anteriormente com a câmara de ionização posicionada a uma distância foco-câmara (DFC) de 100 cm e com a distância distância foco-filtro (DFP) de 50 cm. As filtrações adicionais medidas dos equipamentos foram: 1,012mmAl para o Rhos 1; 1,019mmAl para o Rhos 2 e 0,724mmAl para o Dabi Atlante.

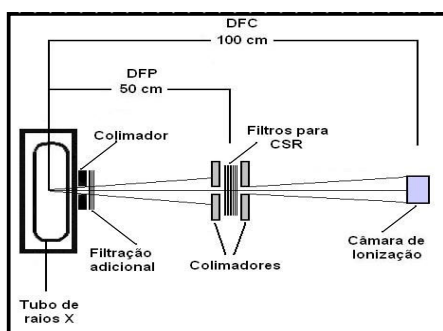


Figura 3 – Setup para determinação das CSRs.

A etapa seguinte foi a realização da espectrometria no equipamento de raios-X variável e nos equipamentos odontológicos comerciais. Para tal, foi utilizado um sistema espectrométrico da Amptek constituído de um detector de CdTe, modelo XR-100T, de dimensões 3x3x1mm<sup>3</sup>, um amplificador e fonte, modelo PX2T, um analisador multicanal, modelo MCA8000A com software de aquisição de dados e pinhole de chumbo. Os espectros foram obtidos a uma distância foco-detector (DFD) de 2 metros com filtração adicional de 2,5mmAl. Foi realizada uma comparação entre os espectros dos equipamentos sem o procedimento de correção (*stripping*) para determinar o valor máximo da tensão aplicada ao tubo.

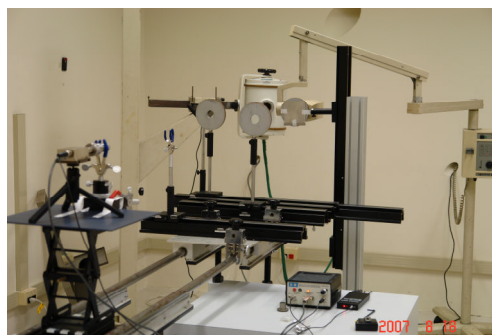
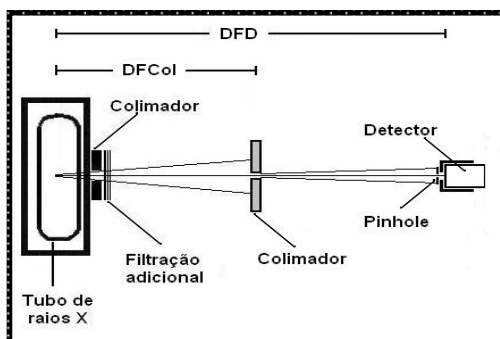


Figura 4 – Setup para Espectrometria dos feixes de raios-X.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS

### 5.1 Filtração Inerente

A filtração inerente obtida no sistema odontológico variável, através da análise da CSR sem filtração adicional, foi de **1,21mmAl**. Foi utilizado o modo fluoroscópico, tensão de 60 kV, corrente de 1 mA e uma DFC de 1,0m.

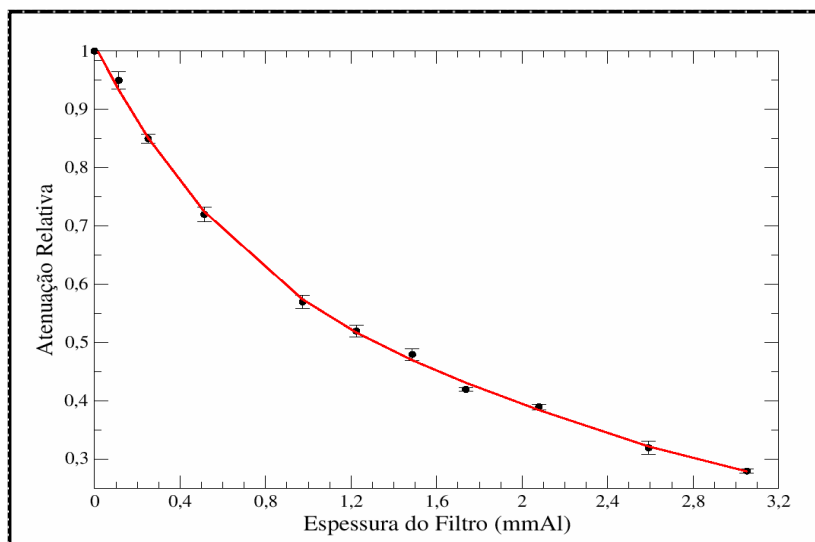


Figura 5 – Determinação da CSR do sistema odontológico variável.

### 5.2 Camada Semi-redutora (CSR)

Os valores obtidos para a 1ª e 2ª CSR dos equipamentos comerciais foram, respectivamente: **1,23 e 2,73mmAl** para o Dabi Atlante; **1,18 e 2,92mmAl** para o Rhos 1, e **1,19 e 2,88mmAl** para o Rhos 2.

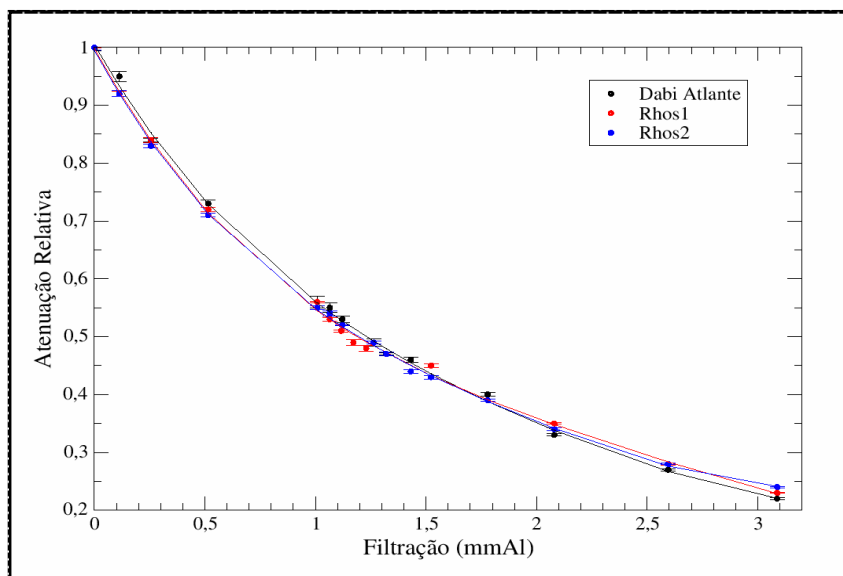


Figura 6 – Determinação da CSR dos aparelhos odontológicos comerciais.

### 5.3 ESPECTROMETRIA DOS FEIXES DE RADIAÇÃO

Os valores de kVp, obtidos através dos espectros, para equipamentos foram **49,17 kVp** (Dabi Atlante); **50,71 kVp** (Rhos 1); **50,12 kVp** (Rhos 2). Quando ajustado para uma tensão nominal de **50 kVp**, o aparelho de raios-X variável apresentou um valor de kVp medido de **50,36 kVp**.

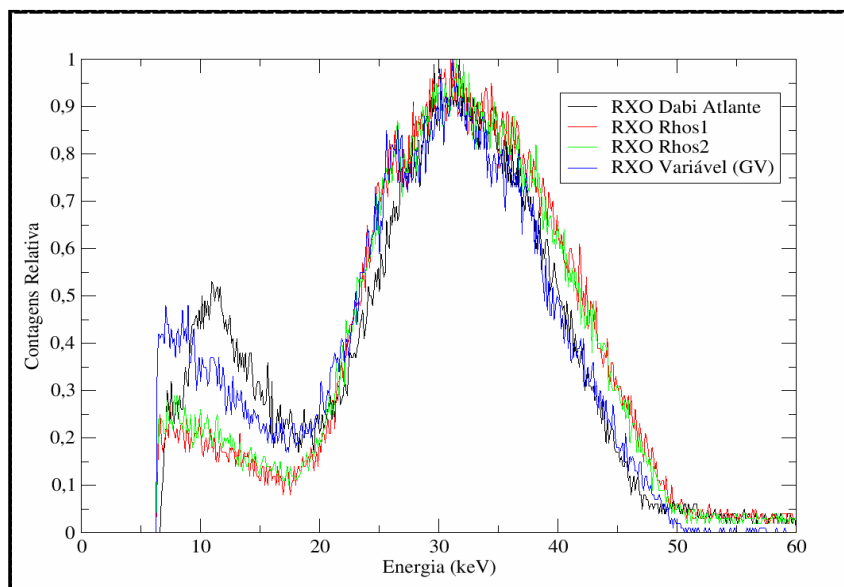


Figura 7 – Espectrometria dos aparelhos odontológicos comerciais e do aparelho de raios-x variável.

## 6. CONCLUSÕES

Embora exista uma diferença entre o valor nominal do kVp dos aparelhos comerciais (dois de 80kVp e um de 70kVp), não há uma mudança significativa nos valores das CSRs, indicando que eles possuem o mesmo poder de penetração.



Os espectros encontrados nos raios-X odontológicos apresentaram boa concordância. Os resultados foram satisfatórios no que diz respeito ao equipamento de raios-X odontológico variável que conseguiu reproduzir as características dos aparelhos odontológicos comerciais.

## REFERÊNCIAS

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG – DIN. **Strahlenqualitäten für Messungen in der Radiologischen Technik**, DIN 6872 (V., Beuth Verlag GmbH, Berlin 30), 1938.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION – ICRP. 1990  
**Recommendations of the International Commission on Radiological Protection**. Publication 60, Oxford and New York: Pergamon Press, 1991.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **X and Gamma Reference Radiations for Calibrating Dosimeters and Doserate Meters and Determining their Response as Function of Photon Energy. Part 1: Radiation Characteristics and Production Methods**. ISO 4037-1, 1996.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNIT AND MEASUREMENTS – ICRU. **Radiation Dosimetry: X Rays Generated at Potentials of 5 to 150 kV**. ICRU Report 17, Bethesda, MD, USA, 1970.

MATSCHEKO, Georg. **A Compton Scattering Spectrometer for Measurements of Primary Photon Energy Spectra from Clinical X-Ray Units Under Working Conditions**. Linköping University Medical Dissertations. No. 280. Departamento of Radiation Physics. Linköping University. Linköping. 1988.

MELO, F. A. **Desenvolvimento de um Sistema Dosimétrico para Controle de Qualidade de Equipamentos de Raios-X Odontológicos**. Tese de Doutorado, DEN/UFPE, Recife, 2002.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria 453. Diretrizes de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico e Odontológico**. Diário Oficial da União, Brasília, 02 de junho de 1998.

MOTA, H.C.; ARAÚJO, A. M. C.; PEIXOTO, J. E.; DREXLER, G. **Proteção Radiológica e Controle de Qualidade em Radiologia Dentária**. IRD/CNEN, Rio de Janeiro, 1994.

NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS – NCRP. **Dosimetry of X-Ray and Gamma-Ray Beams for radiation Therapy in the Energy Range 10 keV to 50 MeV**. NCRP Report 69, Washington DC, 1981.

NOGUEIRA, M. S. **Determinação dos Fatores de Conversão de Kerma no Ar e de Fluência para o Equivalente de Dose Ambiental para Raios-X Gerados no Intervalo de 50 kVp a 125 kVp**. Tese de Doutorado, IPEN/CNEN – USP, São Paulo, 1997.

PEIXOTO, J. G. P. **Rastreabilidade e Controle de Qualidade em Mamografia: Medidas e Modelos**. Tese de Doutorado, UERJ, Rio de Janeiro, 2002.

POTIENS, M. P. A. **Metodologia dosimétrica e sistema de referência para radiação X nível diagnóstico**. Tese (Doutoramento)–IPEN/USP, São Paulo, 1999.

SOUZA, K. C. **Espectros e qualidades de raios-X para uso em radiodiagnóstico e calibração de equipamentos**. Dissertação (Mestrado) – UFRJ, Rio de Janeiro, 1996.

TAYLOR, L. S. **Physical Foundations of Radiology**, 2<sup>nd</sup> Edition, Chapter XII, Table 7, pp 227-57, 1959.

UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION – UNSCEAR. **Sources and Effects of Ionizing Radiation**. Anex D, Medical Radiation Exposures, Report to the General Assembly, United Nations, New York, 1993.

