

# CARACTERIZAÇÃO DE CÂMARAS DE IONIZAÇÃO EM SISTEMA DE DETECÇÃO DE DUPLA FACE PARA RADIAÇÃO X

Alessandro M. da Costa e Linda V. E. Caldas

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Comissão Nacional de Energia Nuclear  
Caixa Postal 11049  
05422-970, São Paulo, Brasil

## RESUMO

Duas câmaras de ionização de placas paralelas idênticas e com eletrodos coletores de materiais diferentes (para se obter dependências energéticas diferentes), desenvolvidas no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, foram testadas em feixes de radiação X de energias baixas, simulando uma câmara de ionização especial, de dupla face, em sistema Tandem. O objetivo deste trabalho é fundamentar o projeto de câmaras de ionização utilizando o sistema Tandem, por meio de um sistema de detecção de dupla face, permitindo que as medidas da dose absorvida no ar e a determinação da energia efetiva da radiação em estudo sejam feitas com maior rapidez e precisão, em relação a métodos convencionais. Os resultados obtidos em relação às características de estabilidade a curto e longo prazos e de dependência angular e energética mostram que o projeto é exequível e muito apropriado.

## I. INTRODUÇÃO

Em aplicações da radiação ionizante a problemas relacionados à Medicina é importante medir a quantidade de radiação à qual o paciente vai se submeter. Em procedimentos diagnósticos tais como exames com raios X, medicina nuclear, tomografia computadorizada, tomografia por emissão de pósitrons, etc, esta medida é realizada tanto para otimização da qualidade da imagem como para propósitos de proteção radiológica. Contudo, a necessidade de uma exatidão alta na dosimetria das radiações é mais importante em procedimentos terapêuticos, isto é, no tratamento de câncer com radiação. Em radioterapia, o paciente é submetido a uma dose alta de radiação e a eficácia do tratamento depende da exatidão da dose estar dentro de 5% ou melhor em algumas situações.

É necessário conhecer muito bem as características dos feixes de radiação antes de sua utilização tanto em clínicas de radioterapia e radiodiagnóstico como em laboratórios de calibração de detectores de radiação.

Para se medir a quantidade de radiação à qual o paciente vai se submeter, são utilizados instrumentos denominados dosímetros clínicos, constituídos por câmaras de ionização acopladas a eletrômetros, que são previamente calibrados em instituições credenciadas pelas autoridades governamentais de cada país.

Os dosímetros clínicos para uso rotineiro devem ser testados periodicamente pelo usuário, quanto ao seu desempenho. A dosimetria dos feixes de radiação também

deve ser periódica e fazer parte do programa de controle de qualidade tanto no caso dos sistemas de radioterapia como de radiodiagnóstico. As condições são descritas em relação às características dos feixes de radiação, que, no caso de raios X, são dadas em termos dos potenciais aplicados ao tubo, das filtrações totais e das camadas semi-redutoras (CSR). O conceito de energia efetiva também pode ser utilizado como um valor único de energia, para caracterizar a distribuição espectral de um feixe de raios X [1].

O método convencional utilizado para a determinação das CSR, por meio da adição de absorvedores de materiais conhecidos, necessita de um intervalo de tempo considerável para a obtenção das medidas; conseqüentemente a dosimetria de feixes de radiação torna-se um processo demorado.

No Brasil tem havido um interesse crescente em se desenvolver câmaras de ionização para dosimetria da radiação X de energias intermediárias, gama, beta e de elétrons de energias altas, principalmente na área de Física Médica, nível Radioterapia.

Foram desenvolvidas inicialmente câmaras de ionização para radiação X [2] e radiação beta [3] respectivamente pelo Instituto de Radioproteção e Dosimetria, CNEN, Rio de Janeiro, e pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, mostrando a viabilidade de construção de detectores de radiação, utilizando-se materiais disponíveis no mercado nacional.

No Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares foram construídas câmaras de ionização de placas paralelas para radiação X de energias baixas e beta [4-8], elétrons de energias altas [9-11] e uma câmara de extrapolação para radiação X e beta de aplicadores dermatológicos [12-14].

Quase todas as câmaras de ionização apresentam dependência energética, mais ou menos acentuada dependendo do projeto, da composição e das características operacionais. Esta dependência, variável com o tipo de câmara e o intervalo de energia de radiação, pode ser representada pela variação das medidas em função das camadas semi-redutoras ou das energias efetivas.

Desde 1963 têm sido utilizados sistemas Tandem de dosímetros termoluminescentes [15-18]. Consistem de dois dosímetros individuais com dependências energéticas diferentes e permitem a determinação da energia efetiva em campos de radiação X não conhecidos.

À semelhança de sistemas termoluminescentes, foram formados no IPEN sistemas Tandem de câmaras de ionização: Albuquerque [4] e Caldas [6] utilizaram câmaras de ionização de placas paralelas, construídas no IPEN, do mesmo tipo, mas com características diferentes, para se determinar a energia efetiva e a taxa de dose absorvida em campos de radiação X [5]. Galhardo [19] estudou o comportamento destas câmaras em comparação com sistemas Tandem constituídos de diversas combinações de câmaras de ionização comerciais (câmaras cilíndricas e câmaras de placas paralelas) nos laboratórios do IPEN e em clínicas de radioterapia; além disto, apresentou uma metodologia simples para dosimetria rotineira de feixes de radiação X.

O sistema Tandem de câmaras de ionização tem apresentado desempenho adequado para dosimetria rotineira, dispensando a utilização de absorvedores ou de qualquer outro tipo de arranjo especial, como no caso da técnica convencional.

O objetivo deste trabalho é fundamentar o projeto de câmaras de ionização utilizando o sistema Tandem, isto é, câmaras de dupla face, com características diferentes em relação aos eletrodos coletores, para os níveis Radioterapia e Radiodiagnóstico. A utilização destas câmaras será em programas de controle de qualidade de equipamentos de raios X, tanto em clínicas de Radioterapia e Radiodiagnóstico como em laboratórios de Metrologia das Radiações.

Para atingir o objetivo, duas câmaras de ionização de placas paralelas desenvolvidas no IPEN (nível Radioterapia) [4-5], idênticas e com eletrodos coletores de materiais diferentes (para se obter dependências energéticas diferentes), foram testadas em feixes padrões de radiação X, simulando uma câmara de ionização especial, de dupla face, em sistema Tandem, em relação às características de estabilidade a curto e longo prazos e de dependência angular e energética.

Os resultados obtidos no presente trabalho simulando uma única câmara especial foram comparados com os resultados obtidos em trabalhos anteriores num sistema de duas câmaras [4-7,19].

## II. DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL

Foram utilizadas duas câmaras de ionização de placas paralelas desenvolvidas no IPEN [4-7,19]. As duas câmaras são de Lucite tendo como material isolante Teflon e como janela de entrada Mylar aluminizado com  $0,84 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$  de densidade superficial e com um volume sensível de  $0,6 \text{ cm}^3$ . A diferença entre as duas câmaras é o material do eletrodo coletor e do anel de guarda, sendo que em uma delas é alumínio e na outra é grafite. Estas duas câmaras foram coladas simulando uma câmara especial, de dupla face, constituindo uma única câmara Tandem. A maior vantagem deste tipo de câmara é proporcionar maior rapidez na obtenção dos resultados, diminuindo o risco de erro de posicionamento da câmara, bastando girá-la entre uma condição e outra.

As câmaras foram acopladas ao eletrômetro Physikalisch-Technische Werkstätten, Alemanha, modelo MULTIDOS.

As irradiações foram realizadas com o equipamento de raios X Rigaku Denki, Japão, modelo Geigerflex, com tubo Philips, Holanda, modelo PW 2184/00, janela com 1 mm de berílio e alvo de tungstênio, que opera até 60 kV. A Tabela 1 apresenta as características deste sistema de irradiação.

TABELA 1. Características do Sistema de Raios X Rigaku Denki. Distância foco-câmara: 50,0 cm. Diâmetro do campo: 4,36 cm.

| Tensão<br>(kV) | Corrente<br>(mA) | Filtração<br>Adicional<br>(mm Al) | 1° CSR <sup>a</sup><br>(mm Al) | Energia<br>Efetiva<br>(keV) |
|----------------|------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 25             | 30               | 0,44                              | 0,25                           | 14,3                        |
| 30             | 30               | 0,54                              | 0,36                           | 15,5                        |
| 40             | 30               | 0,68                              | 0,53                           | 17,7                        |
| 45             | 25               | 0,73                              | 0,59                           | 18,7                        |
| 50             | 25               | 1,02                              | 0,89                           | 21,2                        |

a. Camada semi-redutora

O sistema tipo padrão secundário com o qual as câmaras foram calibradas é composto de uma câmara de ionização de placas paralelas modelo 2536/3B (volume sensível de  $0,3 \text{ cm}^3$ ) acoplada a um eletrômetro modelo 2560, ambos da marca Nuclear Enterprises Ltd., Inglaterra, e com certificado de calibração do National Physical Laboratory, Inglaterra.

Também foi utilizada uma fonte de controle de <sup>90</sup>Sr da Physikalisch-Technische Werkstätten, Alemanha, com atividade nominal de 33,3 Mbq (0,9 mCi), 1988, type 8921, juntamente com um suporte especialmente desenvolvido e fabricado no IPEN com a finalidade de assegurar uma geometria fixa no posicionamento da fonte em relação à câmara para realização dos testes de estabilidade a curto e a longo prazos.

Como as câmaras utilizadas não são seladas, todas as medições foram corrigidas para as condições ambientais de temperatura e pressão.

### III. RESULTADOS

O teste de estabilidade a curto prazo ou repetitividade é o grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando, efetuadas sob as mesmas condições de medição. A repetitividade pode ser expressa, quantitativamente, em função das características de dispersão dos resultados, como por exemplo o desvio padrão porcentual. Dez medições sucessivas foram feitas várias vezes para ambas as câmaras utilizando a fonte de  $^{90}\text{Sr}$ . Os resultados obtidos simulando uma única câmara especial foram os mesmos obtidos em trabalhos anteriores num sistema de duas câmaras [4-7,19], ou seja, para todos os casos o desvio padrão porcentual mostrou-se inferior a 0,5%, que é o valor estabelecido por norma para os instrumentos de campo [20], tanto para a câmara com eletrodo coletor de alumínio como para a câmara com eletrodo coletor de grafite.

A estabilidade a longo prazo ou reprodutibilidade reporta o grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando, efetuadas sob condições variadas de medição. Para que uma expressão da reprodutibilidade seja válida, é necessário que sejam especificadas as condições alteradas. No nosso caso, a única condição alterada é o tempo. A reprodutibilidade também pode ser expressa, quantitativamente, em função das características da dispersão dos resultados. As medições foram realizadas diariamente por um período de aproximadamente um mês, sob as mesmas condições geométricas. Comparando os resultados com um valor de referência, pode-se ver pelas Figuras 1 e 2 que os resultados obtidos se mostraram melhores que os de trabalhos anteriores [4-7,19], ou seja, os desvios estão todos dentro de  $\pm 1\%$ , que é o valor estabelecido por norma para os instrumentos de campo [20].

A fim de se estudar a dependência energética de cada câmara para raios X de energias baixas, foram realizadas medições utilizando-se as condições experimentais da Tabela 1. Os fatores de calibração foram obtidos por meio do sistema padrão secundário e estão representados em função da energia efetiva do feixe incidente nas Figuras 3 e 4. Todas as incertezas nos fatores de calibração foram menores que 0,8%.

Para uma melhor visualização e para evitar mal-entendido, os fatores de calibração foram apresentados em  $\text{R.C}^{-1}$ . Para este caso a unidade SI resulta em uma unidade muito estranha ( $\text{kg}^{-1}$ ) que não descreve toda a situação [6]. As duas câmaras têm dependências energéticas diferentes devido ao fato de possuírem eletrodos coletores de materiais diferentes. As Figuras 3 e 4 mostram que a câmara com eletrodo coletor de grafite apresenta menor dependência energética que a câmara com eletrodo coletor de alumínio para esta faixa de energia. Neste caso, a câmara com eletrodo coletor de grafite é a recomendada para a obtenção

das taxas de exposição ou dose absorvida no ar. A Figura 5 apresenta a curva Tandem para este sistema que foi obtida da razão entre os fatores de calibração da câmara com eletrodo coletor de grafite e da câmara com eletrodo coletor de alumínio. Os resultados obtidos foram qualitativamente semelhantes aos obtidos por Albuquerque [4] e Galhardo [19] utilizando um sistema de duas câmaras medidas separadamente.

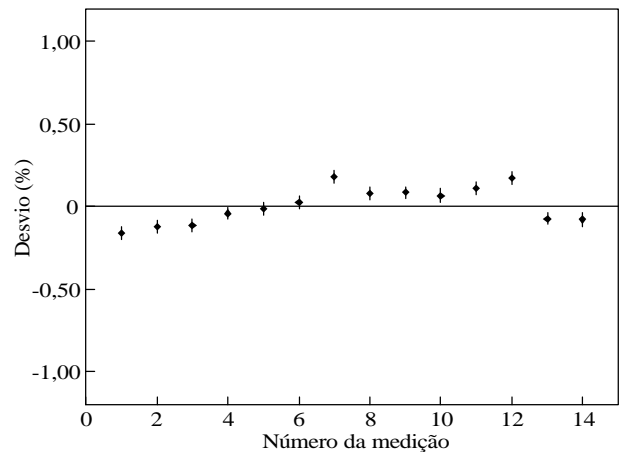


Figura 1. Teste de Reprodutibilidade da Câmara de Ionização com Eletrodo Coletor de Alumínio.

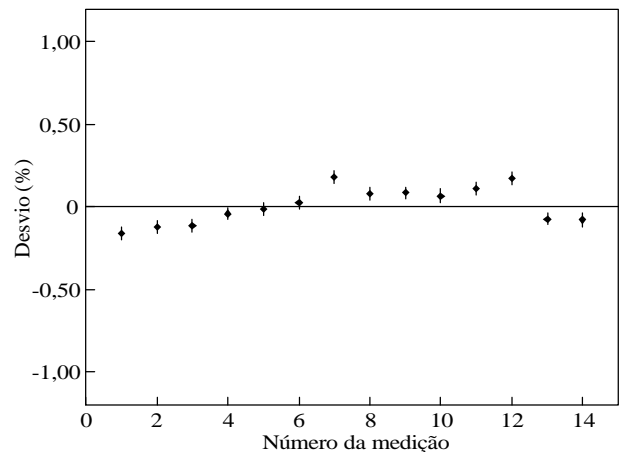


Figura 2. Teste de Reprodutibilidade da Câmara de Ionização com Eletrodo Coletor de Grafite.

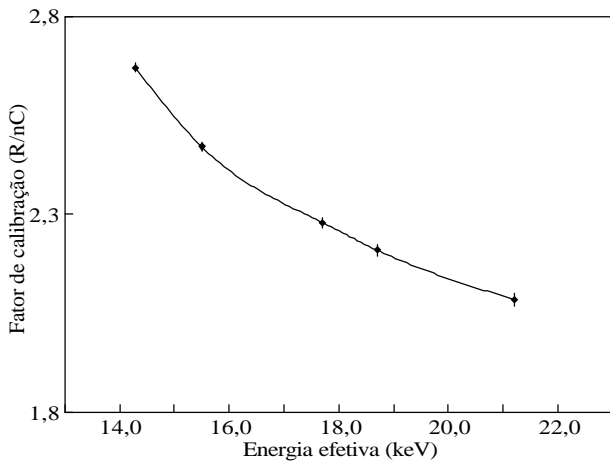


Figura 3. Dependência Energética da Câmara de Ionização de Placas Paralelas com Eletrodo Coletor de Alumínio para Radiação X de Energias Baixas.

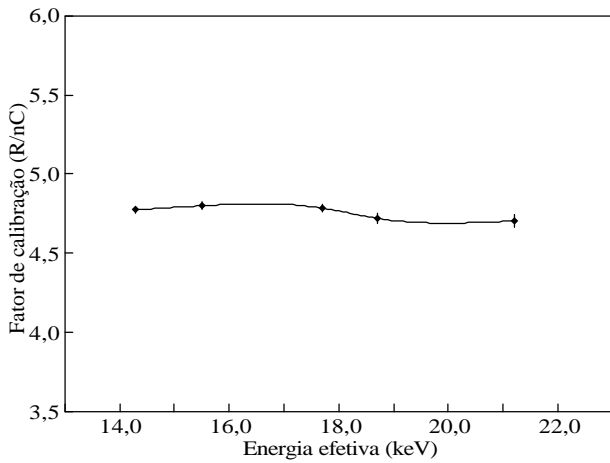


Figura 4. Dependência Energética da Câmara de Ionização de Placas Paralelas com Eletrodo Coletor de Grafite para Radiação X de Energias Baixas.

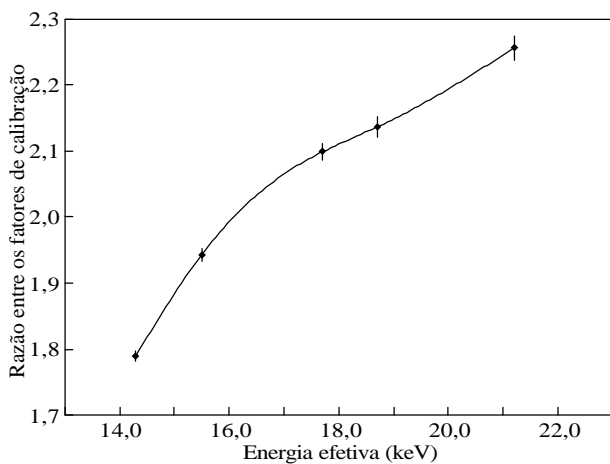


Figura 5. Curva Tandem do Sistema de Câmaras de Placas Paralelas do IPEN.

Para o teste de dependência angular, as câmaras (coladas) foram irradiadas no ar, tomando-se como referência a superfície das janelas de entrada. A resposta das câmaras foi medida variando-se o ângulo de incidência da radiação entre 0 e  $\pm 90^\circ$ , onde  $0^\circ$  significa uma irradiação frontal. As Figuras 6 e 7 apresentam os resultados para a radiação X de 25 kV (a), 40 kV (b) e 50 kV (c). As medidas foram normalizadas para a irradiação frontal. Os resultados obtidos mostram um comportamento qualitativo similar ao do sistema de duas câmaras separadas já estudado em trabalhos anteriores [4,7].

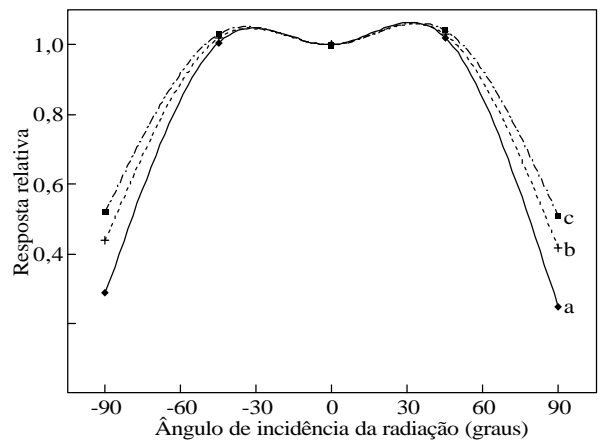


Figura 6. Dependência Angular da Resposta da Câmara de Ionização de Placas Paralelas com Eletrodo Coletor de Alumínio, para Radiação X de 25 kV (a), 40 kV (b) e 50 kV (c).

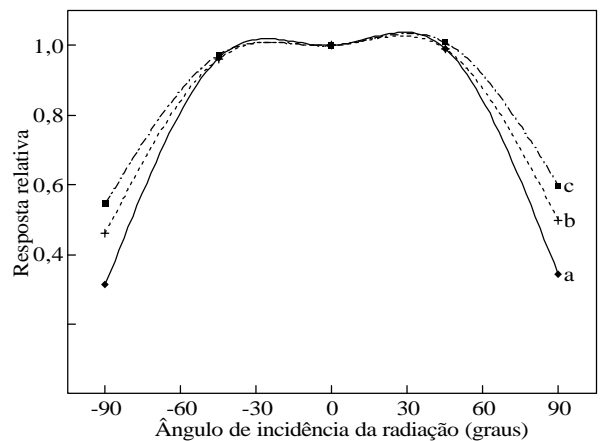


Figura 7. Dependência Angular da Resposta da Câmara de Ionização de Placas Paralelas com Eletrodo Coletor de Grafite, para Radiação X de 25 kV (a), 40 kV (b) e 50 kV (c).

#### IV. DISCUSSÃO FINAL

Comparando-se os resultados obtidos no presente trabalho simulando uma única câmara especial com os resultados obtidos em trabalhos anteriores num sistema de duas câmaras [4-7,18], pode-se concluir que o projeto e a construção de câmaras de ionização de placas paralelas especiais, com eletrodos coletores de materiais diferentes (para se obter dependências energéticas diferentes), de dupla face, em sistema Tandem, é exequível e muito apropriado, principalmente no que se refere a sua aplicação. Uma câmara deste tipo permitirá que a medida da dose absorvida e a determinação da energia efetiva da radiação em estudo sejam feitas com maior rapidez e precisão em relação a sistemas convencionais.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração da Dra. Maria da Penha Albuquerque Potiens e do Eng. Vítor Vívol, do Laboratório de Calibração de Instrumentos do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). Agradecem também o suporte financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

#### REFERÊNCIAS

- [1] International Atomic Energy Agency, **Calibration of dosimeters used in radiotherapy**, IAEA, Vienna, 1994. (Technical Report Series No. 374).
- [2] Campos, C.A.A.L., **Construção, calibração e testes de uma câmara de ionização para medidas de exposição na região de 40 a 1250 keV**, Rio de Janeiro: 1982, Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Rio de Janeiro.
- [3] Silva, I., **Projeto e construção de uma câmara de extrapolação para dosimetria beta**, Belo Horizonte: 1985, Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais.
- [4] Albuquerque, M.P.P., **Projeto, construção e calibração de câmaras de ionização de placas paralelas para radiação X**, São Paulo: 1989, Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo.
- [5] Albuquerque, M.P.P. and Caldas, L.V.E., **New ionization chambers for beta and X-radiation**, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, v. A280, p. 310-313, 1989.

[6] Caldas, L.V.E., **A sequential Tandem system of ionisation chambers for effective energy determination of radiation fields**, Radiation Protection Dosimetry, v. 36, n. 1, p. 47-50, 1991.

[7] Caldas, L.V.E. and Albuquerque, M.P.P., **Angular dependence of parallel plate ionization chambers**, Radiation Protection Dosimetry, v. 37, n. 1, p. 55-57, 1991.

[8] Caldas, L.V.E. and Albuquerque, M. P. P., Calibration of parallel plate ionization chambers in different kinds of radiation. In: International Radiation Protection Association, **Worldwide achievement in public and occupational health protection against radiation**, Montréal: IRPA, 1992, p. 144-147, Proceedings of the 8th International congress of ..., held in Montréal, Canada, May 17-22, 1992. (Preprints).

[9] Souza, C. N. and Caldas, L.V.E., Parallel plate ionization chamber for electron dosimetry, In: International Radiation Protection Association, **Worldwide achievement in public and occupational health protection against radiation**, Montréal: IRPA, 1992, p. 644-647. Proceedings of the 8th International congress of ..., held in Montréal, Canada, May 17-22, 1992. (Preprints).

[10] Souza, C.N., **Desenvolvimento de um sistema dosimétrico para feixes de elétrons de energias altas**, . São Paulo: 1994, Tese (Doutoramento) - Universidade de São Paulo.

[11] Souza, C. N.; Caldas, L.V.E.; Sibata, C.H.; Ho, A.K. and Shin, K.H., **Two new parallel-plate ionization chambers for electron beam dosimetry**, Radiation Measurements, v. 26, n. 1, p. 65-74, 1996.

[12] Dias, S.K. and Caldas, L.V.E. **Extrapolation chamber response in low energy X radiation standard therapy beams**, Physics in Medicine and Biology, v. 39a, p. 801, 1994.

[13] Dias, S.K. **Desenvolvimento de uma câmara de extrapolação como instrumento de referência para dosimetria de radiação beta**, São Paulo: 1996. Tese (Doutoramento) – Universidade de São Paulo.

[14] Dias, S.K. and Caldas, L.V.E. **Development of an extrapolation chamber for the calibration of beta-ray applicators**, IEEE Transactions on Nuclear Science, v. 45, n.3, p. 1666-1669, 1998.

[15] Kenney, G.N. and Cameron, J. R, **X-ray beam quality measurement utilizing TL dosimeters**, Progress Report, AEC Contract AT 11-1-1105, TID-19112, 1963.

[16] Gorbics, S.G. and Attix, F.H., **LiF and CaF<sub>2</sub>:Mn thermoluminescent dosimeters in Tandem**, International

Journal of Applied Radiation Isotopes, v. 19, n.1, p. 81-89, 1968.

[17] Spurny, Z. and Milu, C. and Racoveanu, N., **Comparison of X-ray beams using thermoluminescent dosimeters**, Physics in Medicine and Biology, v. 18, n. 2, p. 276-278, 1973.

[18] Da Rosa, L.A.R., **Utilização de dosímetros termoluminescentes para determinação da exposição ou dose absorvida em campos de radiação gama ou X com distribuição espectral desconhecida**, Rio de Janeiro: 1981. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

[19] Galhardo, E. P. **Caracterização de sistemas Tandem de câmaras de ionização comerciais para dosimetria de feixes de raios X (nível radioterapia)**, São Paulo: 1998. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.

[20] International Electrotechnical Commission, **Medical electrical equipment. Dosimeters with ionization chambers as used in radiotherapy**, Aug. 7, 1996. (Draft International Standard IEC 731 Revision).

#### ABSTRACT

Two identical parallel-plate ionization chambers with collecting electrodes of different materials (in order to obtain different energy dependences), developed at Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, were tested in low-energy X-radiation beams, simulating a special ionization chamber, of double face, in a Tandem system. The purpose of this work is to justify a project of a double face detection system utilizing ionization chambers in Tandem. In relation to conventional methods, this kind of system will provide more efficient and precise absorbed dose in air measurements and radiation effective energy determinations. The results obtained in relation to characteristics of short- and long-term stabilities and angular and energy dependence show that the project is feasible and very appropriate.