

CONSTRUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CÂMARAS DE IONIZAÇÃO COM AR COMPRIMIDO E PAREDES DE ALUMÍNIO PARA DOSIMETRIA COM FÓTONS

R. G. S. Rodrigues¹, C. A. Pelá², T. G. Netto³

RESUMO -- Neste trabalho, apresentamos resultados referentes à construção e caracterização de câmaras de ionização com ar comprimido feitas com paredes de alumínio. Foram considerados os efeitos de: absorção na parede, ejeção de elétrons da parede em desequilíbrio com o gás e recombinação. As câmaras de ionização construídas apresentam sensibilidade uma ordem de grandeza maior, comparativamente a câmaras de mesmo volume à pressão ambiente. Em particular, dois modelos foram construídos e caracterizados: uma câmara de 23 cm³ a 2500 kPa e uma câmara de 150 cm³ a 1400 kPa. Estas pressões foram escolhidas por minimizarem a dependência energética na faixa de energias entre 40 keV e 1,25 MeV. Nesta faixa, a variação em energia foi menor que 5 %. A câmara de 23 cm³ a 2500 kPa pode ser utilizada para medir taxas de exposição menores que 10⁻⁷ C(kg.s)⁻¹, mas para taxas maiores que este valor, a recombinação passa a dominar o processo e correções devem ser feitas para manter a linearidade da leitura da câmara com relação à taxa de exposição.

Palavras-chave: Dosimetria, Instrumentação, Câmaras de Ionização com Ar Comprimido.

INTRODUÇÃO

As câmaras de ionização com ar comprimido, são utilizadas para medidas de baixas intensidades de raios x, raios γ e raios cósmicos. Estas câmaras requerem paredes com alta resistência mecânica para suportar altas pressões. Materiais resistentes, em geral, possuem número atômico alto, impossibilitando que a parede seja equivalente ao ar. Desta forma, em câmaras com ar comprimido e paredes não equivalentes ao ar, a corrente de ionização total é composta por uma componente devido ao espalhamento na parede e outra devido à ionização do gás.

A componente devido à parede, em geral, é fortemente dependente da energia dos fótons incidentes. A não equivalência com câmaras abertas em medidas de exposição parece determinar que este tipo de câmara é inadequada para a maioria das aplicações práticas em dosimetria. Entretanto, pode ser verificado (Rodrigues e Pelá, 1995) que a combinação dos efeitos de recombinação no gás, atenuação na parede e ejeção de elétrons da parede possibilita a calibração

¹ Aluno de Doutorado, FFCLRP-USP, e-mail: rglauco@biomag.ffclrp.usp.br

² Professor, FFCLRP-USP, Departamento de Física e Matemática

³ Professor, FFCLRP-USP, Departamento de Física e Matemática

deste tipo de câmara. Os elétrons provenientes da parede, compensam a atenuação para as baixas energias (40 keV a 120 keV) e não contribuem com a corrente de ionização total para altas energias (660 keV a 1,25 MeV). Além disto, o fator de recombinação, variável com a pressão, permite o controle do nível de recombinação tornando possível escolher uma pressão onde a dependência energética é minimizada. Estes efeitos, combinados de forma apropriada, se mostram úteis na escolha dos critérios para construção de câmaras de ionização com ar comprimido e paredes não equivalentes ao ar.

Com o aumento da sensibilidade devido ao aumento de pressão, é possível utilizar amplificação eletrônica menor, aumentando assim, a rapidez do sistema. Isto viabiliza sua aplicação para medidas de baixas taxas de exposição em fontes de radiação com tempo de exposição relativamente curto.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

À medida que o potencial de polarização em uma câmara de ionização aumenta, a quantidade de portadores de carga coletados também aumenta.

Na região de recombinação o crescimento da corrente de ionização é quase linear, mas depois tende assintoticamente para a corrente de saturação correspondente a uma dada taxa de exposição.

Quando a saturação ocorre, a corrente de ionização se torna independente do potencial de polarização, crescendo linearmente com a taxa de exposição. O platô de saturação desloca-se para a região de potenciais mais altos, à medida que a taxa de exposição aumenta.

Quando não é possível evitar a recombinação, pode-se obter um valor prático da corrente de saturação através da extrapolação (Scott e Greening, 1963) do gráfico do recíproco da corrente de ionização pelo recíproco do potencial de polarização onde a recombinação inicial é predominante e do recíproco do quadrado do potencial de polarização onde a recombinação geral é predominante. Matematicamente, estas aproximações são mostradas nas Equações (1) e (2) respectivamente.

$$\frac{1}{i} = \frac{1}{i_s} + \frac{1}{V} \quad (\text{recombinação inicial}) \quad (1)$$

$$\frac{1}{i} = \frac{1}{i_s} + \frac{i}{V^2} \quad (\text{recombinação geral}) \quad (2)$$

onde i = corrente de ionização, i_s = corrente de saturação e V = potencial de polarização.

Fazendo o potencial de polarização tender a infinito, o recíproco da corrente de ionização tende para o valor do recíproco da corrente de saturação. Este procedimento pode ser aplicado sempre que a recombinação for pequena.

É particularmente de interesse, aumentar a sensibilidade de maneira a medir baixas taxas de exposição e obter rapidez na estabilização da eletrônica devido à menor amplificação eletrônica.

O aumento da sensibilidade pode vir através do aumento do volume ou de modificações na natureza ou no estado do gás. O aumento do volume acarreta prejuízos para a portabilidade do sistema.

Quando se deseja aumentar a sensibilidade do sistema, sem comprometer o tempo de resposta e a portabilidade, a escolha por câmaras com ar comprimido e paredes de alumínio apresenta algumas vantagens em dosimetria. São elas: o número atômico efetivo do ar e a energia necessária para formar um par de íons no ar não mudam com a pressão (Attix, 1986), são menores que suas equivalentes à pressão ambiente e pode ser mostrado que elas apresentam características de linearidade e dependência energética comparáveis às apresentadas pelas câmaras à pressão ambiente com paredes equivalente ao ar com a vantagem de serem mais sensíveis.

PROJETO DA CÂMARA

O diagrama esquemático, bem como as características peculiares das câmaras construídas estão mostradas na

Figura 1. A primeira etapa do projeto de uma câmara de ionização com ar comprimido e parede de alumínio é definir a faixa de energias na qual ela será utilizada. Uma extensa faixa de energias pode ser escolhida, porém os resultados podem ficar melhores se for escolhida uma faixa específica (radiodiagnóstico por exemplo).

Dependendo do volume da câmara e da espessura da parede, pode-se aumentar a intensidade da corrente de ionização em mais de 10 vezes. Desta forma deve-se escolher um volume, tendo em mente que a câmara será equivalente em corrente a câmaras cerca de 10 vezes maiores.

A espessura da parede deve ser escolhida em função dos requisitos de resistências mecânica e da mínima energia com a qual se deseja trabalhar. Quanto mais delgada for a parede, melhores serão as características para feixes com energias baixas (região de mamografia por exemplo). Este parâmetro deve ser otimizado pois a pressão de trabalho aumenta com a diminuição da espessura da parede criando um limite de validade, a partir do qual a pressão de trabalho ultrapassa a pressão necessária para romper a parede.

O potencial de polarização deve ser selecionado de maneira a ajustar a taxa de exposição máxima que se deseja medir. Quanto mais intenso for o potencial, maior será a faixa de utilização da câmara.

Por fim, quando todos os parâmetros anteriormente citados forem escolhidos e a câmara construída, deve-se fazer duas curvas de corrente de ionização vs. pressão, uma para cada extremo da faixa de energias, de maneira a encontrar a pressão de trabalho da referida câmara.

A dependência energética será minimizada na pressão onde ocorre a interseção das duas curvas.

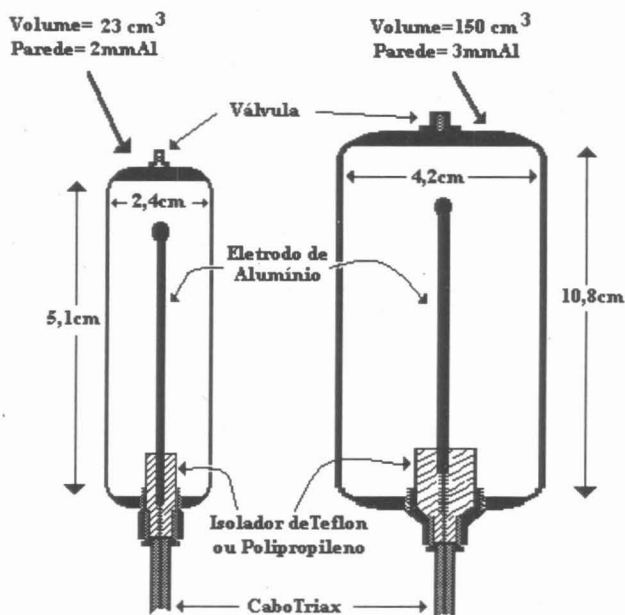


Figura 1. Diagrama esquemático das câmaras de ionização com ar comprimido e paredes de alumínio construídas e testadas.

A geometria escolhida para as câmaras construídas e utilizadas para obter os resultados deste trabalho foi a cilíndrica. Esta escolha foi feita devido à facilidade de usinagem, manutenção da pressão e disposição do *guard*.

O alumínio foi escolhido devido a características mecânicas e à baixa atenuação comparativamente a outros metais.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Recombinação Iônica

Efeito da Pressão -- Ao se aumentar a pressão para um dado potencial de polarização, promove-se o aumento no nível de recombinação, de maneira que o ganho a partir de um certo valor de pressão perde-se totalmente por recombinação. A Figura 2 mostra este comportamento para diferentes potenciais de polarização. À medida que o potencial de polarização aumenta, a curva de corrente vs. pressão tende para um comportamento quase linear.

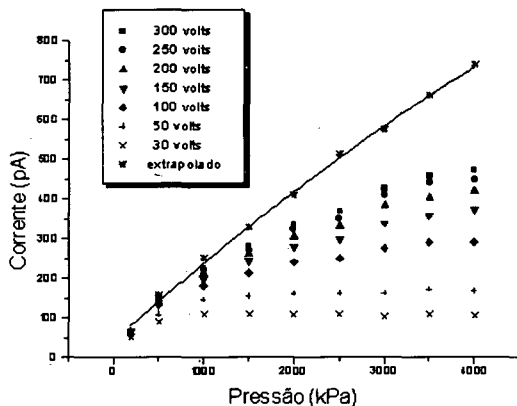


Figura 2. Extrapolação de curvas de pressão medidas no césio com a câmara de 23 cm³.

Dependência com a taxa de exposição -- A curva A da Figura 3 foi conseguida através de uma extrapolação fazendo o potencial tender para infinito. A curva B da Figura 3 foi obtida variando-se a taxa de exposição e monitorando a relação entre a leitura da câmara de 23 cm³ com ar comprimido e a de uma câmara com ar à pressão ambiente.

A curva A foi construída utilizando a Equação (1) para obter a corrente de saturação extrapolada. Em seguida a corrente de saturação extrapolada foi dividida pela corrente de ionização medida para o potencial de 300 V.

A curva B representa apenas a recombinação dependente da taxa de exposição, uma vez que foi obtida através da relação entre a câmara pressurizada e uma câmara sem essa dependência.

O fato de aproximadamente 10 % dos íons se recombinarem sempre (nesta configuração), não acarreta prejuízos para a linearidade, pois esta recombinação independe da taxa de exposição, tendo praticamente a mesma relação percentual para todas as taxas de exposição utilizadas.

Dependência energética

Material da parede -- Foi observado que câmaras construídas com paredes de alumínio têm uma contribuição grande da parede quando operam à pressão ambiente.

A Figura 4 mostra a curva de dependência energética para uma câmara de 180 cm³ de alumínio em relação a uma câmara de mesmo volume com parede equivalente ao ar.

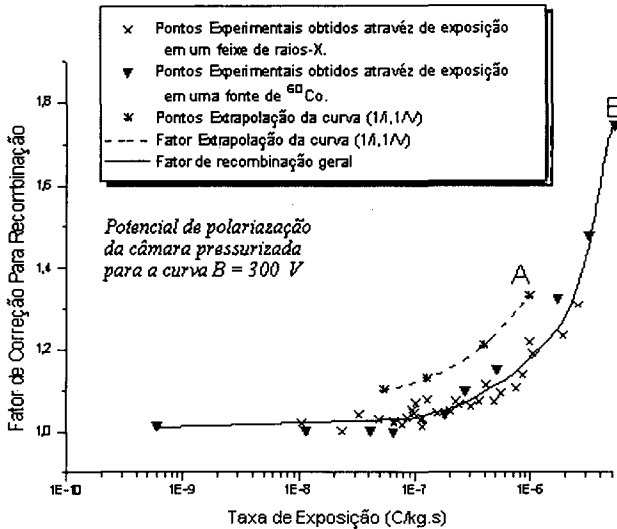


Figura 3. Fatores de recombinação dependentes da taxa de exposição para a câmara de 23 cm^3 . A diferença entre as curvas A e B, quase constante, é devida à recombinação inicial, independente da taxa de exposição. Medidas de taxas de exposição acima de $10^{-7} \text{ C (kg.s)}^{-1}$ devem ser corrigidas devido à recombinação geral.

A produção de elétrons secundários na parede provoca um ganho em relação a câmaras com paredes equivalentes ao ar de mesmo volume.

A máxima contribuição ocorre nas energias mais baixas e praticamente não há efeito da parede para energias maiores (Césio ou Cobalto), pois o efeito Compton, predominante nestas energias, independe do número atômico do material da parede.

Efeito da pressão – A diminuição da corrente de ionização em relação ao aumento de pressão ocorre principalmente devido à recombinação.

As curvas de corrente vs. pressão são muito dependentes de: espalhamento na parede, atenuação na parede e recombinação. Isto ocorre quando a energia dos fótons incidentes está na faixa do radiodiagnóstico (20 keV a 150 keV). Quando a energia dos fótons incidentes é grande (Césio ou Cobalto), entretanto, as curvas de corrente vs. pressão têm um comportamento mais linear.

A Figura 5 mostra as curvas de ganho com a pressão para três fontes de radiação de diferentes energias e mesma quantidade de radiação.

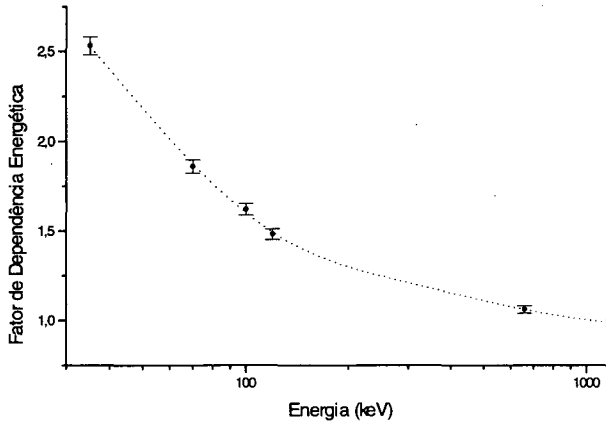


Figura 4. Este gráfico mostra a dependência energética de uma câmara de 180 cm³, à pressão ambiente, feita de alumínio com relação a uma câmara idêntica feita de policarbonato revestido internamente com grafite. Na faixa de energias mostrada, a atenuação pode ser desprezada pois as paredes têm espessura muito fina.

O fato destas curvas se cruzarem, indica que existe uma pressão onde a dependência em energia é pequena.

Os principais fatores que podem modificar a pressão ótima de trabalho são: o material e a espessura da parede, o tamanho da câmara e o potencial de polarização.

As curvas de dependência energética da câmara utilizada, feita para diferentes pressões, é mostrada na Figura 6.

Uma dependência maior para as energias mais baixas era esperada, mas pode ser diminuída reduzindo a espessura da parede.

Pode-se adequar a espessura da parede para proporcionar uma atenuação menor, melhorando assim a resposta para baixas energias.

Para caracterizar o funcionamento de câmaras maiores, foi utilizada uma câmara de 150 cm³ feita de alumínio. Foi verificado que quanto maior for a câmara, menor será a pressão adequada em termos de dependência energética. Isto facilita a construção das câmaras, pois pressões menores são mais fáceis de serem mantidas. Desta forma, deve-se buscar um equilíbrio entre portabilidade e sensibilidade.

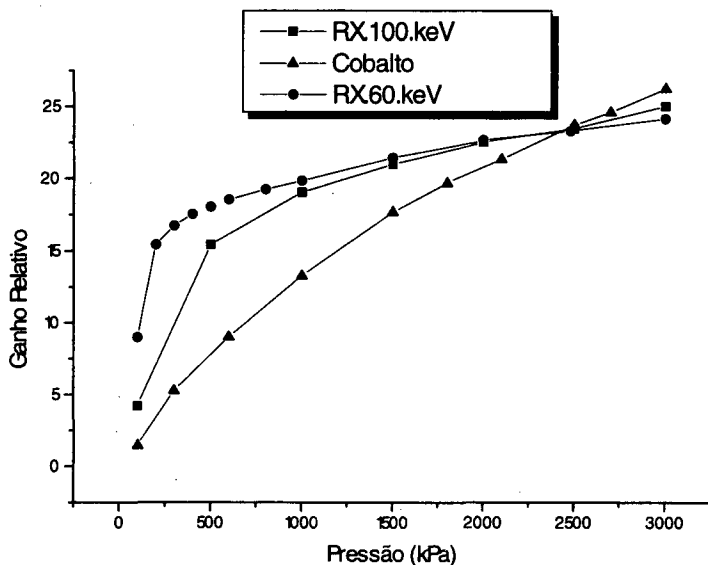


Figura 5. Curvas de ganho com a pressão em relação a uma câmara de policarbonato à pressão ambiente em diferentes energias para taxas de exposição em torno de $4,6 \times 10^{-8} \text{ C (kg.s)}^{-1}$. Este resultado é muito importante para este tipo de câmaras de ionização, pois mostra que em muitos casos é possível obter uma dependência energética muito pequena para uma dada pressão.

Câmaras de 23 cm^3 a 2500 kPa são equivalentes a câmaras de 300 cm^3 à pressão ambiente. Uma câmara de 300 cm^3 pode ser equivalente a uma câmara de 2 a 3 litros e operar em pressões da ordem de 1000 kPa . Estas câmaras podem ser muito sensíveis, a ponto de permitir medidas da radiação de fundo.

A câmara de 150 cm^3 apresenta uma dependência energética muito pequena na pressão de 1200 kPa .

Aparentemente, a câmara de 150 cm^3 tem propriedades similares às da câmara de 23 cm^3 . A Figura 7 mostra as curvas de dependência energética para a câmara de 150 cm^3 .

Na pressão de 1200 kPa , a câmara de 150 cm^3 apresentou pouca dependência energética, com exceção das medidas feitas em energias menores que 45 keV .

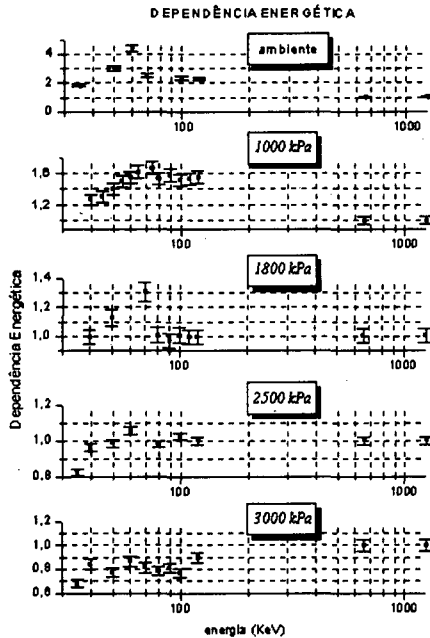


Figura 6. Curvas de dependência energética para a câmara de 23 cm³ polarizada com 300 V para algumas pressões. À pressão ambiente a câmara de alumínio fornece uma corrente 4,5 vezes maior que uma câmara idêntica com parede equivalente ao ar. À pressão de 2500 kPa, na região em torno de 60 keV, a dependência é de 5 %. Para a energia efetiva de 35 keV, os resultados não foram muito bons com esta câmara.

Tempo de resposta

Dependência com a pressão -- Sabe-se que a velocidade de coleção dos elétrons e íons diminui com a pressão e isto poderia prejudicar o funcionamento do sistema.

Medidas feitas com taxas de exposição altas revelaram valores bem pequenos para o tempo de resposta do sistema. A Tabela 1 mostra os tempos em função da pressão, onde pode ser visto que ao variar a pressão de 1500 kPa, o tempo de resposta varia de aproximadamente 80 ms.

Tabela 1. Constantes de tempo medidas para diferentes valores de pressão. Note-se que as medidas foram feitas em uma mesma escala, de maneira que a variação com a pressão foi devida somente à mudança na pressão.

Pressões (kPa)	100	200	300	500	700	900	1100	1500
Constante de tempo (ms)	67	67	67	88	108	125	148	153

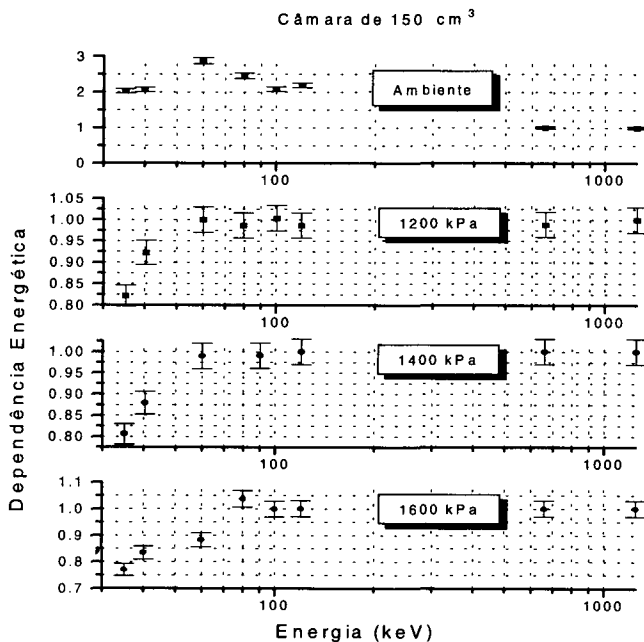


Figura 7. Curvas de dependência energética para a câmara de 150 cm³ polarizada com 300 V. A pressão de trabalho encontrada para esta configuração foi de 1200 kPa.

CONCLUSÕES

As câmaras de ionização com ar comprimido, feitas com paredes de alumínio, se mostraram potencialmente úteis em medidas onde a intensidade de radiação é muito baixa.

Na utilização do ar comprimido, existe a necessidade de trabalhar com potenciais de polarização altos (acima de 300 V) para diminuir a recombinação, a menos que o uso da câmara seja restrito a medidas de taxas de exposição muito baixas, ou que se faça algum tipo de correção para a

recombinação. A recombinação inerente ao uso do ar comprimido na câmara de 23 cm³ com pressão de 2500 kPa, independe da taxa de exposição até 10⁻⁷ C (kg.s)⁻¹, e sendo assim, não precisa ser compensada até este valor.

Os elétrons ejetados da parede compensam a fração de recombinação que depende da energia.

O próximo passo em nosso estudo é utilizar a experiência adquirida para operacionalizar uma câmara de ionização com ar comprimido de 300 cm³, bem como a eletrônica necessária.

Esta câmara poderá ser equivalente a uma câmara de 2 ou 3 litros, e terá condições de quantificar radiação ambiental e ser utilizada em medidas de radiação de fuga e teste de barreiras, onde a baixa intensidade do feixe requer alta sensibilidade do detector.

REFERÊNCIAS

- ATTIX, F. H. (1986). *Introduction to radiological physics and radiation dosimetry*. New York: John Wiley & Sons.
- RODRIGUES, R. G. S. (1995). *Desenvolvimento de câmaras de ionização com ar comprimido para avaliações radiométricas*. Dissertação de Mestrado, Mestrado em Física Aplicada à Medicina e Biologia, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, Ribeirão Preto.
- SCOTT, P. B. and GREENING, J. R. (1963). "The determination of saturation currents in free-air chamber by extrapolation methods". *Phys. Med. Biol.*, p. 8-51

CONSTRUCTION AND CHARACTERIZATION OF IONIZATION CHAMBERS WITH COMPRESSED AIR AND ALUMINUM WALLS FOR PHOTONS DOSIMETRY

R. G. S. Rodrigues¹, C. A. Pelá², T. G. Netto³

ABSTRACT -- In this work, we presented results about construction, characterization and application of ionization chambers with compressed air that were made with aluminum walls. The considered effects were: absorability in the wall, ejection of electrons of the wall at disequilibrium with the gas and recombination. The ionization chambers presented more sensibility when compared with the chambers of the same volume at 100 kPa pressure. Particularly, two models were tested : a chamber of 23 cm³ with 2500 kPa and a chamber of 150 cm³ at 1400 kPa. These pressures were chosen because they minimize the energetic dependence in the range of energies between 40 keV and 1.25 MeV. In this range, the variation of energy was less than 5 %. With the chamber of 23 cm³ full of compressed air at 2500 kPa, it was possible to measure, with about 10 % error, the rates of exposition of 10⁻⁷ C (kg.s)⁻¹. The rates of this order were obtained without any kind of correction to the recombination, but the rates of orders of 2,2x10⁻⁶ C (kg.s)⁻¹ need to be 30 % corrected due to the recombination to keep the linearity of the detector. This chamber, in its work region, shows a recombination inherent to the use of pressure that doesn't prejudice the linearity of the chamber because it doesn't depend of the exposure rate. The electronic associated with this chamber to the same sensitivity could be more simple and fast. The results of the application in the analysis of beam scatter and straight in relation with energy were satisfactory.

Key-words: Dosimetry, Instrumentation, Ionization Chambers.

¹ Aluno de Doutorado, FFCLRP-USP, e-Mail. rglauc@biomag.ffclrp.usp.br

² Professor, FFCLRP-USP, Departamento de Física e Matemática

³ Professor, FFCLRP-USP, Departamento de Física e Matemática