

1. Publicação nº <i>INPE-2222-PRE/018</i>	2. Versão	3. Data <i>Set., 1981</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DAS</i>	Programa <i>PAS</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>CENTRO GALÁTICO RAIOS GAMA</i>			
7. C.D.U.: <i>523.03</i>			
8. Título <i>MEDIDAS DA LINHA DE ANIQUILAÇÃO ELÉTRON- -PÓSITRON EM 511 KeV EMITIDA PELO CENTRO GALÁTICO</i>		10. Páginas: <i>13</i>	
		11. Última página: <i>12</i>	
9. Autoria <i>Jeronimo Osvaldo Dias Jardim Maria Virginia Alves Jardim John Louis Benson Inacio Malmonge Martin</i>		12. Revisada por <i>W. Gonzalez-A</i> W.D. Gonzalez-A	
Assinatura responsável <i>Jardim</i>		13. Autorizada por <i>Parada</i> Nelson de Jesus Parada Diretor	
14. Resumo/Notas <i>A partir da detecção do fluxo da linha de aniquilação elétron-pósitron, proveniente do centro da galáxia, é possível estimar qual a taxa de produção de pósitrons. Neste trabalho, apresenta-se o resultado de medidas da intensidade da linha de aniquilação em 511 KeV, obtidas com um experimento para medir raios gama entre 0,3 e 3 MeV, a bordo de um balão estratosférico. O detector observou o disco galáctico no intervalo de longitude $-31^{\circ} < l^{\text{II}} < +41^{\circ}$. O fluxo observado é $(6,70 \pm 0,85) \times 10^{-3}$ fótons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ e concorda muito bem com o valor de fluxo estimado supondo-se que o Centro Galáctico é uma fonte linear que emite uniformemente. Discutem-se, também, algumas possíveis fontes de pósitrons.</i>			
15. Observações <i>Trabalho submetido para publicação na Revista Brasileira de Física. Este trabalho foi parcialmente subvencionado pelo "Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FNDCT", através de convênio FINEP.</i>			

Medidas da Raia de Aniquilação Eletron-Pôsitron em 511 KeV Emitida pelo Centro Galático

J.O.D. JARDIM, M.V.A. JARDIM, J.L. BENSON* and I.M. MARTIN

Instituto de Pesquisas Espaciais, C.P. 515, São José dos Campos, SP

Abstract - Measurement of the 511 KeV electron-positron annihilation line emitted from the Galactic Center. The detection of the electron-positron annihilation line flux coming from the Galactic Center can provide the means to estimate the rate of positron production. In this work we present the result of the measurements of the 511 KeV line flux made with a gamma-ray experiment in the energy interval 0.3 to 3 MeV, on board a stratospheric balloon. The detector field of view looked at the galactic longitude interval $-31^{\circ} < \ell^{\text{II}} < +41^{\circ}$. The observed flux is $(6.70 \pm 0.85) \times 10^{-3}$ photons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$, which is in good agreement with the expected flux when assuming that the Galactic Center is a line source emitting uniformly. We discuss also some likely sources of positrons.

Resumo. A partir da detecção do fluxo da raia de aniquilação elétron-pôsitron, proveniente do centro da galáxia, é possível estimar qual a taxa de produção de pôsitrons. Neste trabalho, apresenta-se o resultado de medidas da intensidade da raia de aniquilação em 511 KeV, obtidas com um experimento para medir raios gamma entre 0,3 e 3 MeV, a bordo de um balão estratosférico. O detector observou o disco galático no in

* Endereço Permanente: Max-Planck Institut für Aeronomie, Lindau, FRG.

tervalo de longitude $- 31^{\circ} < \ell^{\text{II}} < + 41^{\circ}$. O fluxo observado é $(6,70 \pm 0,85) \times 10^{-3}$ fótons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ e concorda muito bem com o valor de fluxo estimado supondo-se que o Centro Galáctico é uma fonte linear que emite uniformemente. Discutem-se, também, algumas possíveis fontes de pósi
trons.

1. INTRODUÇÃO

A detecção da intensidade de fluxo da raia de aniquilação elé
tron-pósitron em 511 KeV, proveniente da direção do Centro Galáctico (CG), fornece informações importantes quanto aos processos físicos que ocorrem na região emissora, à extensão da fonte e estimativas com rela
ção às densidades de matéria envolvidas.

A busca para sua detecção tem sido um dos principais objeti
vos dos poucos grupos que trabalham em espectroscopia de raios gama desde a observação realizada por Johnson e Haymes, 1973. Neste caso, entretanto, houve deriva estatística nos canais e a raia observada es
tava centrada em (476 ± 24) KeV, o que causou confusão quanto à deter
minação de sua origem (Johnson e Haymes, 1973). Seu fluxo observado foi de $(1,8 \pm 0,5) \times 10^{-3}$ fótons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Posteriormente, Haymes et al., 1975, analisando dados de um vôo
realizado na Argentina, com um telescópio de abertura angular $\theta \approx 13^{\circ}$, obteve um fluxo de $(8,0 \pm 2,3) \times 10^{-4}$ fótons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$. O in
tervalo de longitude galáctica observado foi de $- 4^{\circ} < \ell^{\text{II}} < + 6^{\circ}$.

Alguns anos mais tarde, Leventhal et al., 1978 efetuaram um experimento em Alice Springs (Austrália) com um telescópio utilizando um grande diodo de germânio de alta pureza (HPGe), com 130 cm^3 de

volume efetivo. O telescópio tem abertura angular $\theta = 15^\circ$ e eles obtiveram um fluxo para a raia em 511 KeV de $(1,22 \pm 0,22) \times 10^{-3}$ fótons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Aproximadamente na mesma época, em 1977, devido a um programa de colaboração entre o Brasil e a França, foram realizados vôos de um telescópio usando um grande detetor de Ge(Li) de 140 cm^3 a bordo de balões estratosféricos (Albernhe et al., 1977), a partir de Guaratinguetá (SP).

Da Costa, 1980, ao analisar os dados obtidos em dois vôos, calculou uma intensidade de fluxo de $(4,19 \pm 1,56) \times 10^{-3}$ fótons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ para a contribuição do CG na raia gama em 511 KeV. Deve-se notar que o telescópio Ge(Li) tem uma abertura angular $\theta = 50^\circ$.

Em 1979, o telescópio do grupo Sandia/Bell Labs (Leventhal e colaboradores) voltou a voar de Alice Springs (Austrália). Das observações efetuadas neste vôo, Leventhal et al., 1980 calcularam o valor da intensidade de fluxo na raia de aniquilação como sendo $(2,35 \pm 0,71) \times 10^{-3}$ fótons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$, na direção do CG.

Neste trabalho, apresenta-se o resultado de medidas da raia de aniquilação, emitida pelo disco galático no intervalo de longitude $-31^\circ < \lambda^{\text{II}} < +41^\circ$, usando-se o detector superior de um telescópio de raios gama embarcado em balão estratosférico.

O experimento foi lançado de Cachoeira Paulista ($22^\circ 40' \text{S}$, 45°W), SP, em 29 de março de 1980.

Após a análise dos dados obtidos, calculou-se uma intensidade de fluxo para a raia em 511 KeV proveniente do CG de $(6,70 \pm 0,85) \times 10^{-3}$ fótons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

2. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO E DO VÔO

O telescópio consiste em dois cristais cilíndricos de NaI(Tl), com dimensões 10,16 cm diâmetro x 10,16 cm altura (4" x 4"), separados por 90 cm na vertical. Simétrica com relação aos detectores e entre estes é colocada uma blindagem de chumbo (Pb) com dimensões de 20 cm de diâmetro x 5 cm de espessura a fim de impedir que fótons, que chegam dentro de um cone de $\sim 30^\circ$ em 1 MeV, alcancem o detector inferior. Cada detector está envolto numa blindagem de pó de alumínio e tem uma cobertura de 1,5 cm de espessura de cintilador plástico, NE102A, a fim de reduzir um pouco do ruído de fundo devido às partículas carregadas.

O arranjo define um ângulo de abertura de 30° à meia intensidade em 1,2 MeV ao se efetuarem as diferenças entre as contagens entre o detector superior e o inferior em função do ângulo, com relação ao eixo do telescópio.

Cada detector está conectado a uma fotomultiplicadora RCA8054 e a um codificador SEIN de 128 canais, a fim de fornecer espectros no intervalo de energia 0,3 a 3 MeV.

Uma descrição completa do telescópio está em Benson et al., 1981.

O telescópio foi lançado de Cachoeira Paulista (SP) a bordo de um balão estratosférico de 74.000 m³ às 02:07 TU, no dia 27 de março de 1980.

O balão alcançou um teto de ~ 4 milibares às 04:04 TU; a duração do voo foi de 13 horas, após o qual foi descontinuado através de um dispositivo piromecânico a fim de se recuperar a carga útil.

Os dados de pressão foram obtidos por um sensor Rosemount. Os sinais codificados, a pressão e temperatura, assim como as direções em azimute obtidas por dois magnetômetros do tipo fluxgate, foram enviados para a estação de terra através da telemetria FM-FM. Os dados foram registrados em fitas magnéticas analógicas para posterior digitalização.

O CG foi observado neste voo em seu trânsito através do ângulo de abertura do telescópio, cujo eixo apontava para o zênite.

Para o cálculo do fluxo da raia em 511 KeV, proveniente do CG, utilizou-se apenas o detector superior do telescópio (abertura angular $\approx 72^\circ$), para o qual usou-se uma relação de 25 KeV/canal. Caso se usasse o telescópio em sua configuração eletrônica atual para este fim haveria dificuldades para localizar a posição do pico com confiabilidade.

A resolução em energia medida para um cristal NaI(Tl) de 4" x 4" em 511 KeV é de 14%.

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Na Figura 1, apresentam-se os espectros observados num tempo de integração de 1 hora e meia, do ruído de fundo (RF) e da região em que o CG estava dentro da abertura angular do detetor superior ($\approx 72^\circ$).

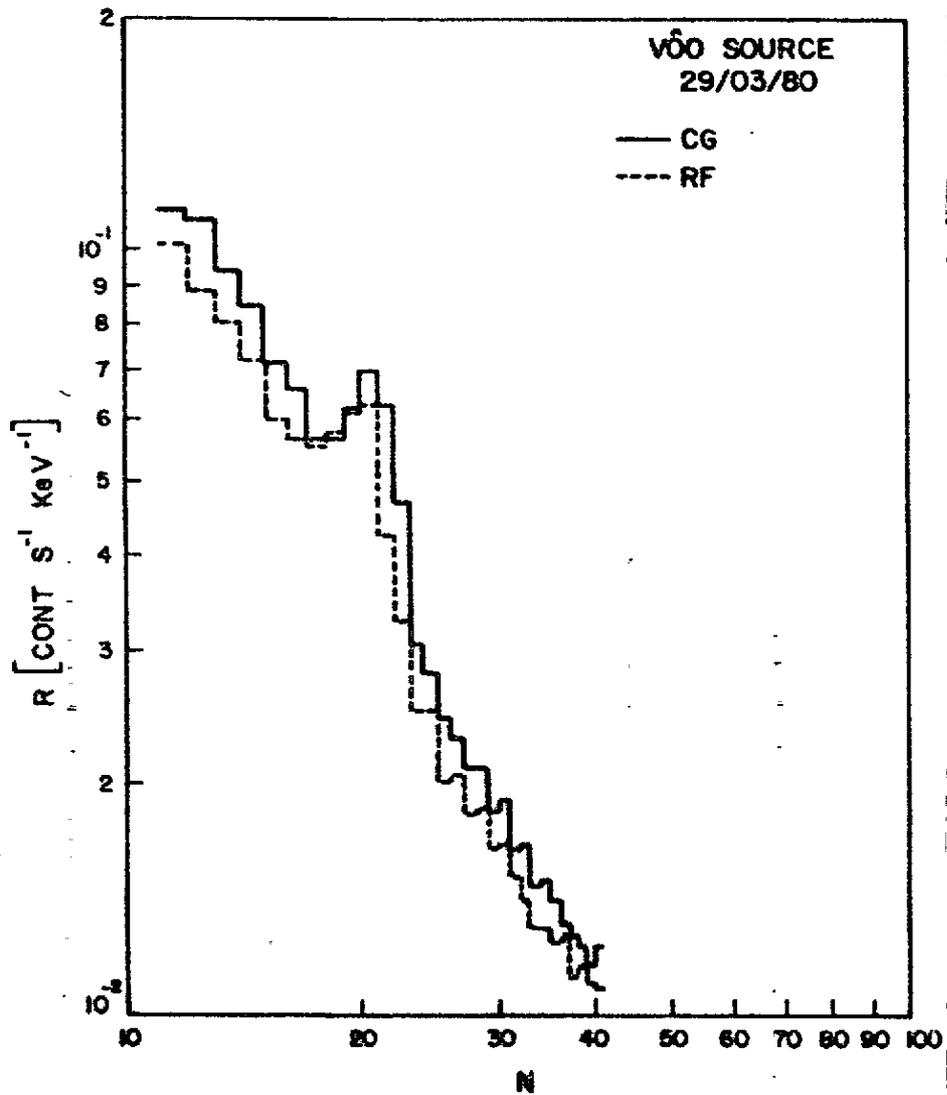


Fig. 1

Na Figura 2, apresentam-se os fluxos médios corrigidos para a absorção atmosférica para os mesmos intervalos de RF e CG. A região do CG foi medida quando o eixo do telescópio apontava para as coordenadas galáticas $l^{\text{II}} = 5,54^{\circ}$ e $b^{\text{II}} = +1,92^{\circ}$, logo o detector superior estava observando o intervalo de longitude $-31^{\circ} < l^{\text{II}} < +41^{\circ}$.

Da diferença entre as medidas de RF e quando o CG estava no ângulo de visada obtem-se uma intensidade para a raia em 511 KeV de $(6,70 \pm 0,85) \times 10^{-3}$ fótons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Supondo-se que o disco galático é uma fonte linear, emitindo uniformemente na raia de 511 KeV, pode-se usar os resultados de Johnson e Haymes, 1973, Haymes et al., 1975, Leventhal et al., 1973 e da Costa 1980 levando-se em consideração os ângulos de abertura a fim de estimar o fluxo que o detector utilizado deveria observar sob esta hipótese.

Com este procedimento calcula-se um fluxo esperado de $(6,55 \pm 0,83) \times 10^{-3}$ fótons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$, o qual concorda bem com o resultado acima obtido.

Mandrou et al., 1980 observaram a região $-45^{\circ} < l^{\text{II}} < +45^{\circ}$, usando um telescópio com abertura angular de 90° , lançado em 1977 de Guaratingetã (SP). Os dados analisados indicam um limite superior (1σ) para a intensidade da raia em 511 KeV proveniente do CG de $9,7 \times 10^{-3}$ fótons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$.

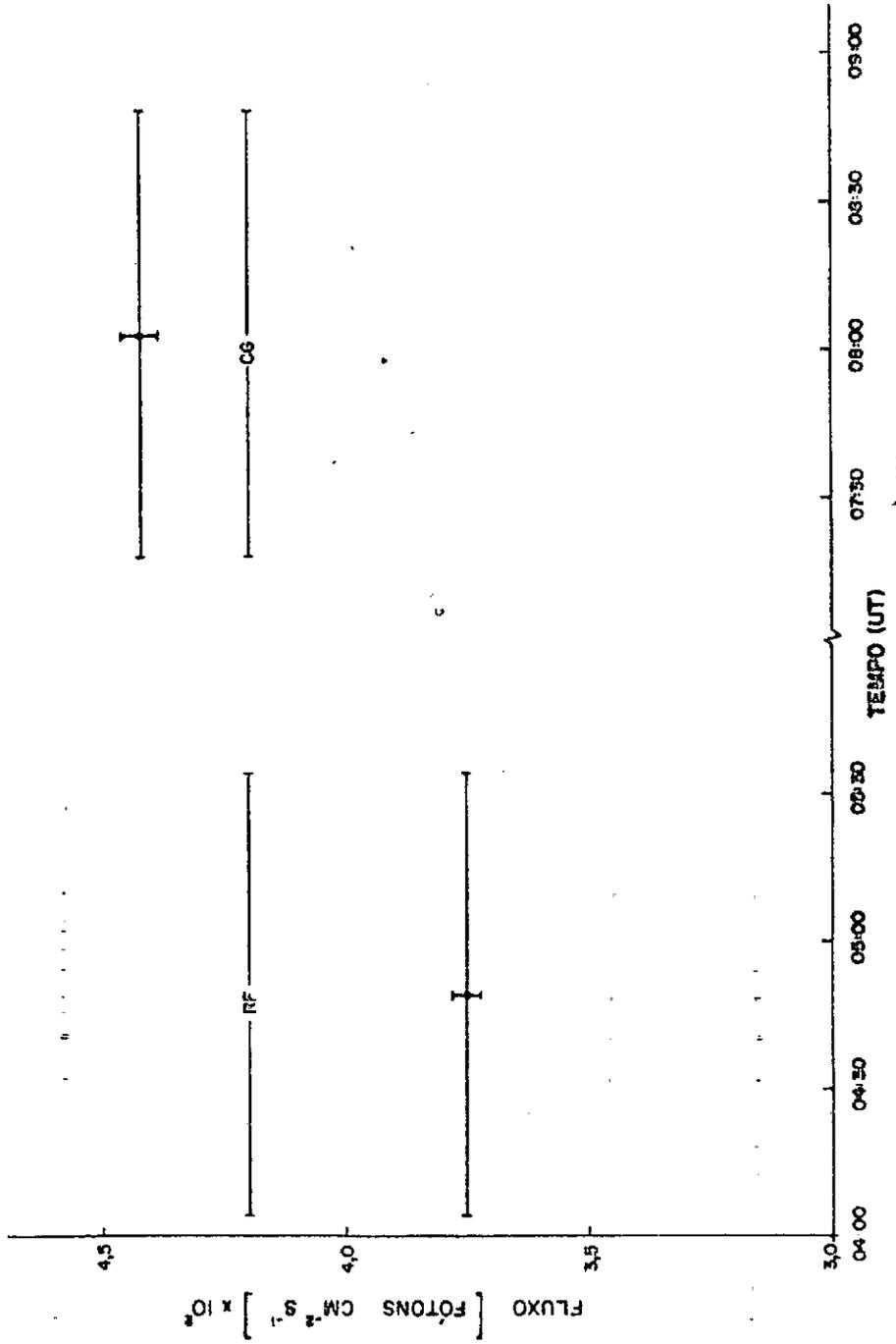


Fig. 2

Na Figura 3 mostram-se os resultados para a intensidade de fluxo das medidas da raia de aniquilação elétron-pósitron na direção do CG efetuadas até o presente, em função da abertura angular, θ , de cada telescópio. A linha reta pontilhada mostra a reta que melhor se ajusta às observações.

Novamente, com a hipótese de que o disco galático é uma fonte linear e usando-se o resultado obtido neste trabalho além dos anteriores, estima-se o fluxo que Mandrou et al., 1980 deveriam observar como sendo $(9,1 \pm 0,8) \times 10^{-3}$ fótons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Os pósitrons têm sua origem, provavelmente, em restos de supernovas e em regiões H II (Bussard et al., 1979). A distribuição observada destes objetos em função da distância galatocêntrica mostra uma concentração entre as longitudes galáticas $\pm 40^\circ$, i.e., aproximadamente 80° de largura (Burton, 1976; Ilovaisky e Lequeux, 1972; Kodaira, 1974).

O fato de Mandrou et al., 1980 terem medido apenas um limite superior para a raia em 511 KeV parece sugerir que a extensão da região emissora é menor do que 90° em longitude, o que está de acordo com a hipótese de Bussard et al., 1979 para a origem dos pósitrons.

Por outro lado, a diferença entre os fluxos medidos por Leventhal et al., 1978 e Leventhal et al., 1980, com o mesmo telescópio usando um diodo HPGe, parece indicar a não-uniformidade da fonte de emissão do disco galático, isto é, a presença de fontes discretas que, em determinadas longitudes, aumentariam a contribuição da raia de aniquilação.

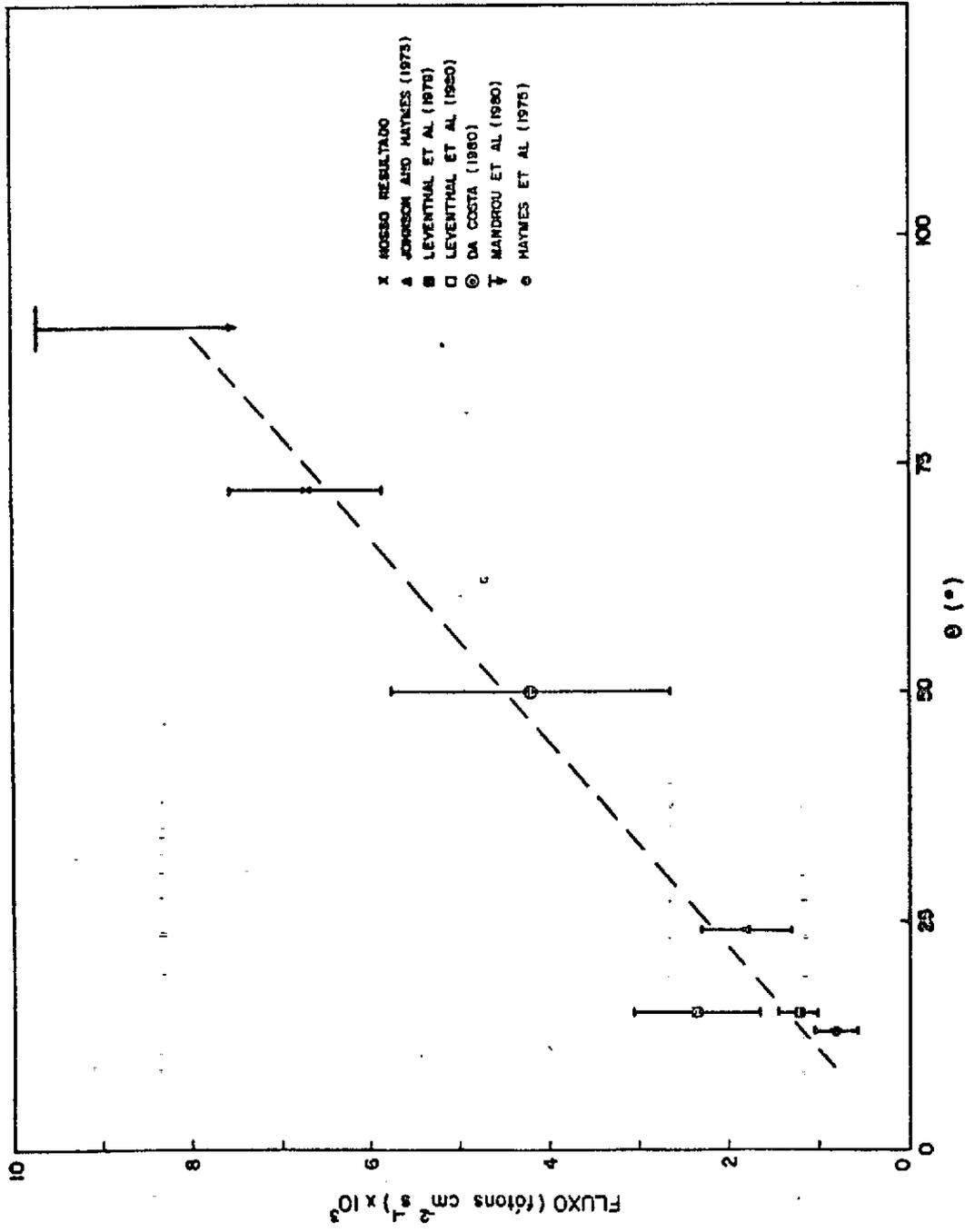


Fig. 3 .

Finalmente, estima-se a taxa de aniquilação necessária para manter o fluxo observado neste trabalho como sendo da ordem de 4×10^{43} aniquilações/segundo, o que leva a uma luminosidade na linha em 511 KeV de $\sim 6 \times 10^{37}$ erg s⁻¹.

Tal taxa de energia não é desprezível, quando comparada com a luminosidade total x e gama estimada para o CG, i.e., 3×10^{39} erg s⁻¹.

A questão sobre as variações de intensidade em pequena escala devido às contribuições discretas deverá ter resposta quando for disponível um telescópio com grande sensibilidade e resolução angular.

REFERÊNCIAS

1. Alberne, F.; Boclet, D.; Claisse, J.; Durouchoux, Ph.; Frabel, M.; Marques, J.; Oliver, E.; Pagnier, P.; Rocchia, R. e Vedrenne, G.; 1977, in Proc. 12 th ESLAB Symp., Frascati, Italy, 24-27 May, 1977, ESA SP-124, p.293.
2. Benson, J.L.; Jardim, J.O.D.; Martin, I.M.; Jayanthi, U.B. e Aguiar, O.D.; 1981, Nuclear Instruments and Methods, 188 613.
3. Burton, W.B.; 1976 in "The Structure and Content of the Galaxy and Galactic Gamma Rays", NASA-CP-002, p.163.
4. Bussard, R.W.; Ramaty, R. e Drachman, R.J.; 1979, Ap. J., 228, 928.
5. Da Costa, J.M.; 1980, Tese de Doutorado, INPE-2002-TDL/043.

6. Haymes, R.C.; Walraven, G.D.; Meegan, C.A.; Hall, R.D.; Djuth, F.T. e Shelton, D.H.; 1975, Ap. J. Letters, 201, 593.
7. Illovaisky, S.A. e Lequeux, J.; 1972, Astron. and Astrophys., 18, 169.
8. Johnson, W.N. e Haymes, R.C.; 1973, Ap. J., 184, 103.
9. Kodaira, K.; 1974, Publ. Astron. Soc. Japan, 26, 255.
10. Leventhal, M.; MacCallum, C.J. e Stang, P.D.; 1978, Ap. J. Letters, 225, L11.
11. Leventhal, M.; MacCallum, C.J.; Hutters, A.F. e Stang, P.D.; 1980, Ap. J., 240, 338.
12. Mandrou, P.; Bui Van, N.A.; Vedrenne, G. e Niel, M.; 1980, Ap. J., 237, 424.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer ao Eng. R. Senador e equipe, e aos técnicos do grupo de lançamento de balões pelo apoio durante a realização deste experimento.