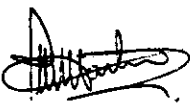


1. Classificação <i>INPE-COM.4/RPE</i> <i>C.D.U: 523.03(816.1)</i>		2. Período	4. Distribuição
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) <i>RADIAÇÃO CÔSMICA SECUNDÁRIA</i> <i>VÔO BOA VISTA-CAMPINAS</i>		interna ☐ externa ☒	
5. Relatório nº <i>INPE-1808-RPE/176</i>	6. Data <i>Junho, 1980</i>	7. Revisado por <i>Kalvala Ramanija Rao</i> <i>Kalvala Ramanija Rao</i>	
8. Título e Sub-Título <i>MEDIDAS DA RADIAÇÃO CÔSMICA SECUNDÁRIA A</i> <i>BORDO DE AVIÃO A JATO EM ALTITUDES DE 12</i> <i>E 12,5 KM ENTRE BOA VISTA E CAMPINAS</i>		9. Autorizado por <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Director</i>	
10. Setor <i>DCE</i>	Código	11. Nº de cópias 18	
12. Autoria <i>Inácio Malmonge Martin</i> <i>Daniel Jean Roger Nordemann</i> <i>Fernando Gonzalez Blanco</i> <i>Renato Senador</i> <i>José Angelo da Costa Ferreira Neri</i>		14. Nº de páginas 21	
13. Assinatura Responsável 		15. Preço	
16. Sumário/Notas <i>Um espectômetro gama composto de um detetor NaI(Tl) de 10cm x 10cm, de um conversor analógico-digital e de um gravador magnético tipo UHER 4400 IC foi utilizado para medir a componente da radiação cósmica secundária compreendida entre 0,3 e 5 MeV. Descrevem-se as medidas feitas com este instrumento a bordo de um avião a jato Sabreliner, em agosto - setembro de 1979, durante o percurso Brasília-Manaus-Boa Vista e Brasília a Campinas ida e volta, em altitudes de 12 e 12,5 km respectivamente. Medidas da calibração foram também efetuadas na superfície terrestre, perto de Brasília, Manaus e São José dos Campos. A variação das taxas de contagem, por faixa de energia da radiação cósmica secundária, foi assim obtida em função da latitude na baixa atmosfera, pela primeira vez no Brasil.</i>			
17. Observações <i>Trabalho subvencionado pela FINEP, através do convênio FINEP CT 537.</i>			

ÍNDICE

ABSTRACT	<i>iv</i>
LISTA DE FIGURAS	<i>v</i>
INTRODUÇÃO	1
DISPOSITIVO EXPERIMENTAL	1
ANÁLISE DAS MEDIDAS	2
CONCLUSÃO	11
AGRADECIMENTOS	17
BIBLIOGRAFIA	19

ABSTRACT

Measurements of secondary cosmic-ray between .3 and 5 MeV were performed using a gamma-ray spectrometer made of a 4"x4" NaI(Tl), an analog to digital converter and a magnetic tape recorder UHER 4400IC. This apparatus was used on board a jet-plane Sabreliner, in august-september 1979, during flights between Campinas-Brasília-Manaus-Boa Vista at altitudes of 39,000 and 41,000 feet. Calibration measurements were made also at the ground level, near Brasilia, Manaus and São José dos Campos. Variations of the counting rate of the secondary cosmic-ray for several energy band-widths versus latitude in the lower atmosphere were obtained for the first time in Brazil.

LISTA DE FIGURAS

1 - Curva de calibração do detetor com os codificador	3
2 - Medida efetuada na estrada de Sobradinho em Brasília	4
3 - Medidas obtidas no sítio Souza Arnould estrada Manaus - Itacoatiara	5
4 - Medida obtida no chão próximo a cauda do avião no Aeroporto de Brasília	7
5 - Medida obtida dentro do avião, na cauda, no aeroporto de Brasília	8
6 - Espectro típico obtido na rota Brasília-Baurū à 41000 pés ...	9
7 - Variação da regidez P_c em função da latitude nas regiões sobrevoadas.....	12
8 - Variação das contagens em função da regidez de corte vertical (P_c)	13
9 - Variação das contagens Σ_1 (0,41 → 2,81 MeV) e Σ_2 (2,82 → 4,95 MeV) em função da altitude.	15

INTRODUÇÃO

A radiação gama presente na alta atmosfera tem, principalmente, sua origem nas reações entre raios cósmicos primários ou secundários e átomos de oxigênio, nitrogênio, e gases raros, presentes nas camadas que circundam a superfície terrestre. Uma pequena parte dessa radiação é oriunda de fontes extraterrestres ou do espaço intergaláctico. Os mecanismos de produção e a propagação dessa radiação na atmosfera não são ainda inteiramente conhecidos.

Vários modelos teóricos têm sido sugeridos porém, devido à escassez de medidas dessa radiação em diversas altitudes e em função da latitude, não permitem ainda conhecimento sobre a intensidade em função da altura, variação em função da latitude e ângulo zenital, componente produzida na atmosfera terrestre e vindo do espaço intergaláctico, origem solar ou provocada pelo homem, através de testes de artefícios nucleares (Puskin 1970, Martin 1970, Mero 1960, Doig 1968, Nordemann 1966, Ferreira 1973, Ling 1974, Martin 1974, IAEA 1979, Marques da Costa 1980). Na atmosfera entre a superfície terrestre e a estratosfera ~ 45 km, as medidas são poderão ser efetuadas com detetores embarcados a bordo de aviões e balões estratosféricos.

No Brasil, efetuou-se medidas da radiação gama entre 0,3 e 5 MeV, a bordo de balões em São José dos Campos, SP (23°S, 45W) e em Juazeiro do Norte-Ce (7°S, 39W), a altura de 37 a 40km. Em 1979 aproveitando a presença de uma aeronave jato, tipo Sabreliner do NCAR-USA, projeto Queimadas, foi possível efetuar medidas dessa radiação desde as proximidades de Campinas SP, até Boa Vista, Ro, e a altitudes de 39.000 e 41.000 pés.

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

O detetor consistia de um cintilador de NaI(Tl) de 4"x4", acoplado diretamente a uma fotomultiplicadora RCA 8054.

A fotomultiplicadora era alimentada por baterias ou um regulador de tensão do avião de 28 Volts. Uma fonte de alta tensão miniaturizada permitia o funcionamento da fotomultiplicadora a 1.500 volts, com 3 watts. Os sinais provenientes de cintilações no cristal era amplificados e colocados de forma a ser analisados através de um codificador de pulsos de 128 canais, calibrados para cobrir a faixa de energia de 0,3 a 5,0 MeV. Esses sinais eram gravados diretamente em um gravador tipo UHER 4400, stereo IC de duas pistas, sendo uma utilizada para gravar uma frequência de 1 khz, correspondendo a tempo, e outro, o sinal proveniente do analisador de pulsos (codificador).

A curva de calibração utilizada, usando fontes radioativas para esse dispositivo, é mostrada na Figura 1.

O cintilador e o gravador foram colocados numa caixa de pvc, na cauda da aeronave, próxima a uma janela, de maneira a sentir menos a presença de materiais metálicos dentro da aeronave.

Um teste com o detetor em terra, próximo ao avião e em sua cauda no interior do mesmo, apresentou, no máximo, uma variação do fluxo de 10% no intervalo de energia medido. O avião era pressurizado e a temperatura interna variou, no máximo, em 10°C durante o vôo. O registro dos sinais sempre era monitorado através de um osciloscópio em paralelo, permitindo assim verificar alguma avaria no sistema.

ANÁLISE DAS MEDIDAS

Os espectro obtidos em Brasília, na estrada de Sobradinho, sobre um terreno natural é mostrado na Figura 2. Nota-se claramente a presença do pico do ^{208}Tl (2.62 MeV) e do ^{40}K (1.46 MeV). O mesmo acontece na Figura 3, com a medida obtida na estrada Manaus-Itacoatiara, Sítio Souza Arnould, em idênticas condições. Essa medida foi obtida após se efetuar os vôos de Brasília-Campinas, ida e volta, e Brasília-Manaus e Manaus-Boa Vista ida e volta.

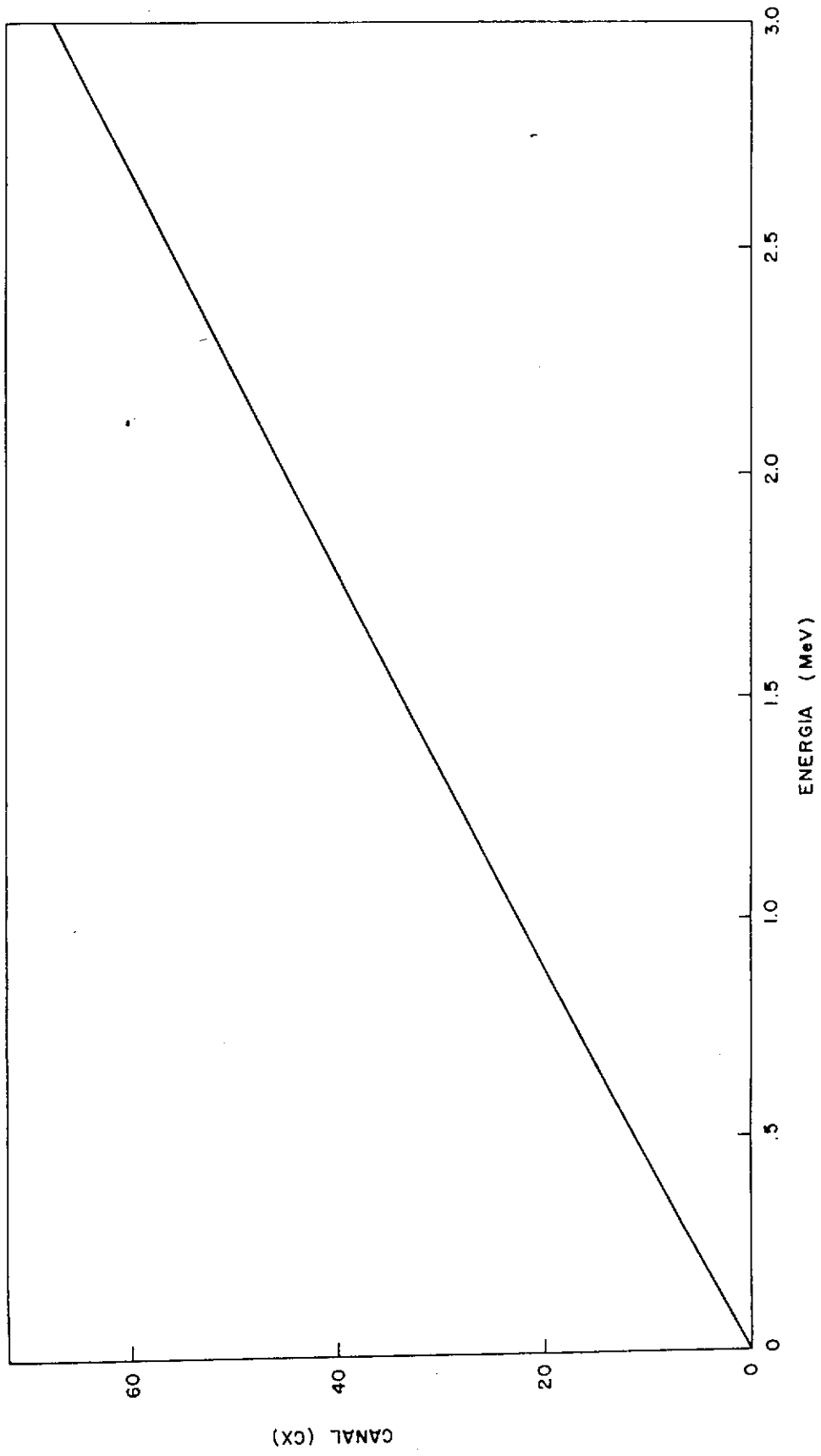


Fig. 1 - Curva de calibração do detector com o codificador.

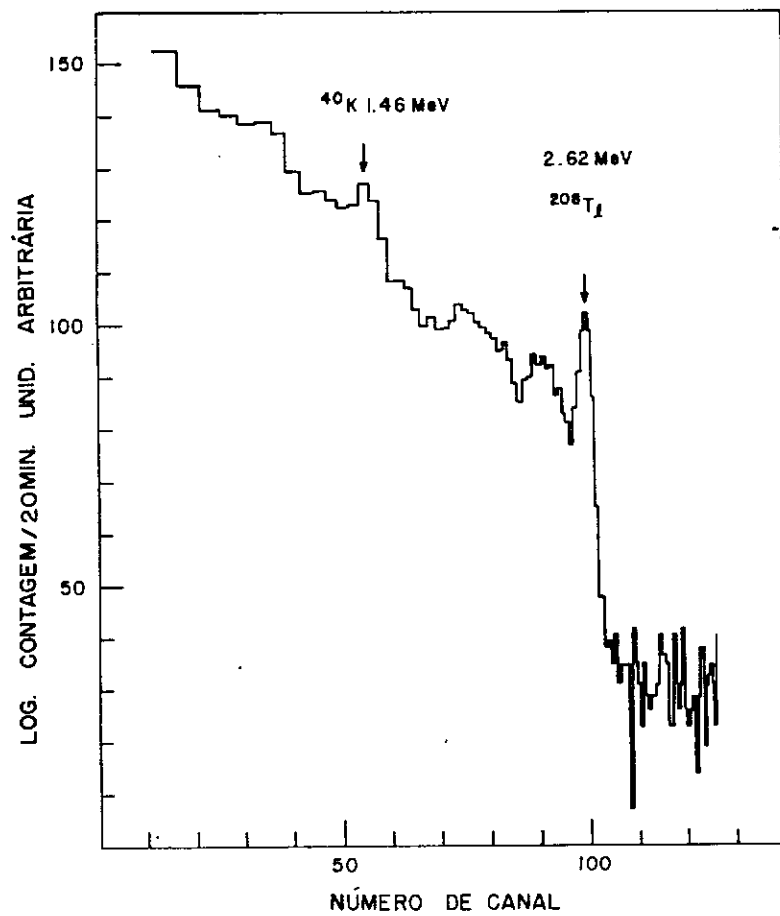


Fig. 2 - Medida efetuada na estrada de Sobradinho em Brasília.

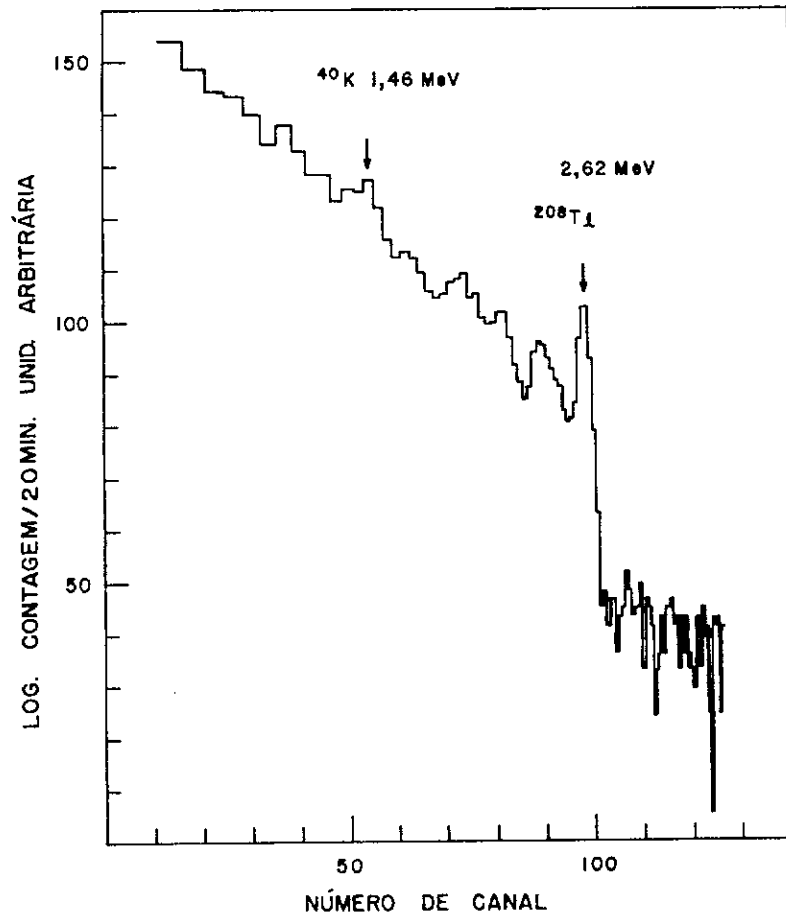


Fig. 3 - Medidas obtidas no sítio Souza Arnauld estrada Manaus-Brasília.

Comparando - se as Figuras 2 e 3, nota-se que não houve nenhum deslocamento de canais ou outros problemas com o cintilador. Nas Figuras 4 e 5, mostram-se os espectros obtidos no chão e dentro do avião, na cauda, onde as medidas foram efetuadas. Nota-se, também a presença do ^{208}Tl e do ^{40}K , permitindo assim a boa calibração do detetor.

Na Figura 6 mostra-se um espectro típico entre Bauru SP e Brasília a 41.000 pés. Para análise desses espectros, a fim de estudar a radiação ambiente a grande escala e de definir melhor no espaço brasileiro a contribuição da radiação cósmica na radiação ambiente total, em regiões equatoriais e tropicais, foram coletados vários espectros em vôo a 39.000 e 41.000 pés e ao nível do solo.

Numa grande parte das medidas de espectrometria gama, de campo ao nível do solo ou em avião a baixa altitude, o tratamento dos espectros faz com que não haja interferências entre as contribuições de origem cósmica e as contagens proveniente do terreno estudado. Este é o caso de medidas feitas não muito longe, onde se fez as calibrações, usando a avaliação das áreas dos picos, pelo método da tangente-secante. (Normann, 1966).

No caso dos espectros feitos em avião, podendo envolver regiões situadas a latitudes geomagnéticas diferentes, as variações da contribuição da radiação cósmica no fundo contínuo podem não ser mais desprezíveis.

A Tabela 1 apresenta os resultados dos vôos feitos nas altitudes de 39.000 e 41.000 pés. Dos espectros armazenados em fitas magnéticas, foram calculadas as contagens nas faixas de energia de 0,41 a 2,81 MeV (Σ_1) e de 2,82 a 4,95 MeV (Σ_2). A faixa de energia Σ_1 é característica das emissões gama, provenientes dos emissores radioativos naturais de longo período, encontrados na crosta terrestre, nas rochas, nos solos, no material do detetor e da aeronave. A faixa de energia Σ_2 corresponde, principalmente, à radiação gama de energia maior, proveniente de reações nucleares do tipo (n, γ) e da detecção de muons.

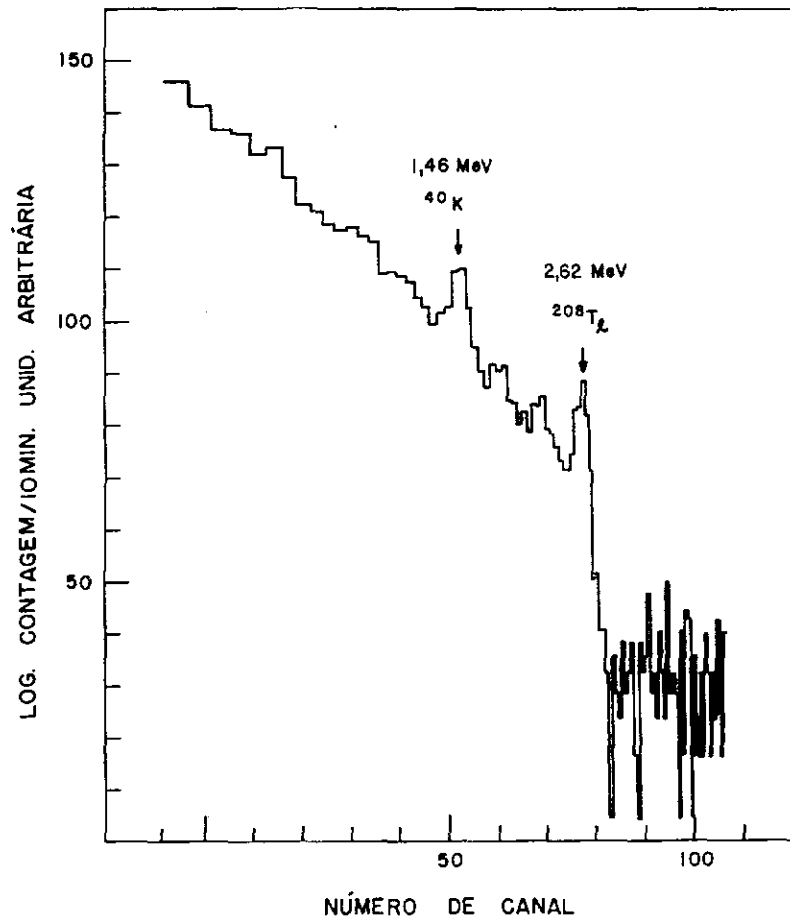


Fig. 4 - Medida obtida no chão próximo a cauda do avião no Aeroporto de Brasília.

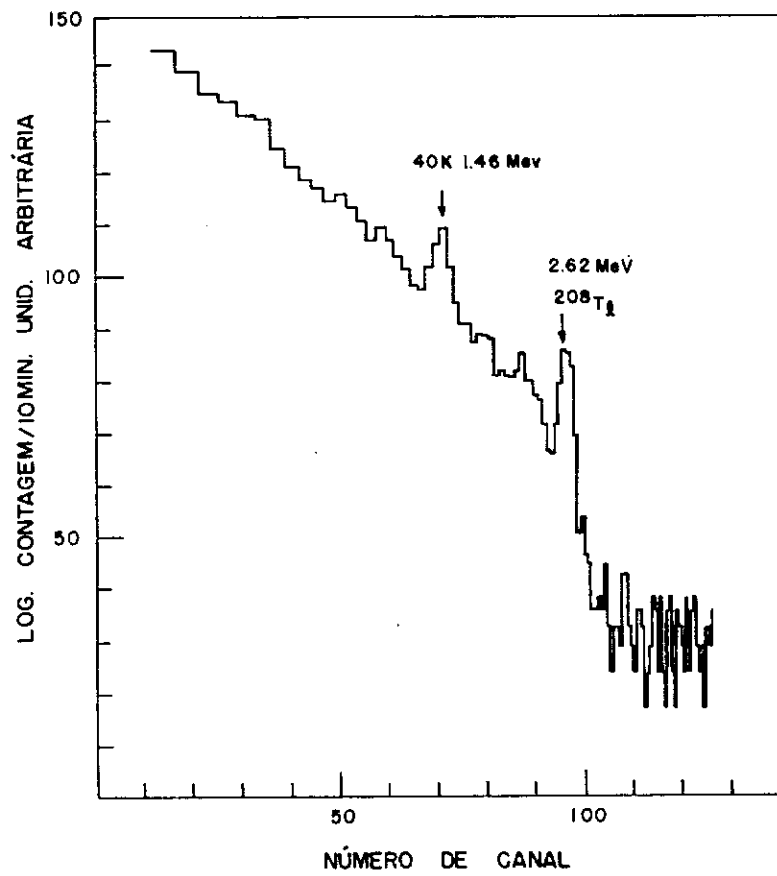


Fig. 5 - Medida obtida dentro do avião, na cauda, no Aeroporto de Brasília.

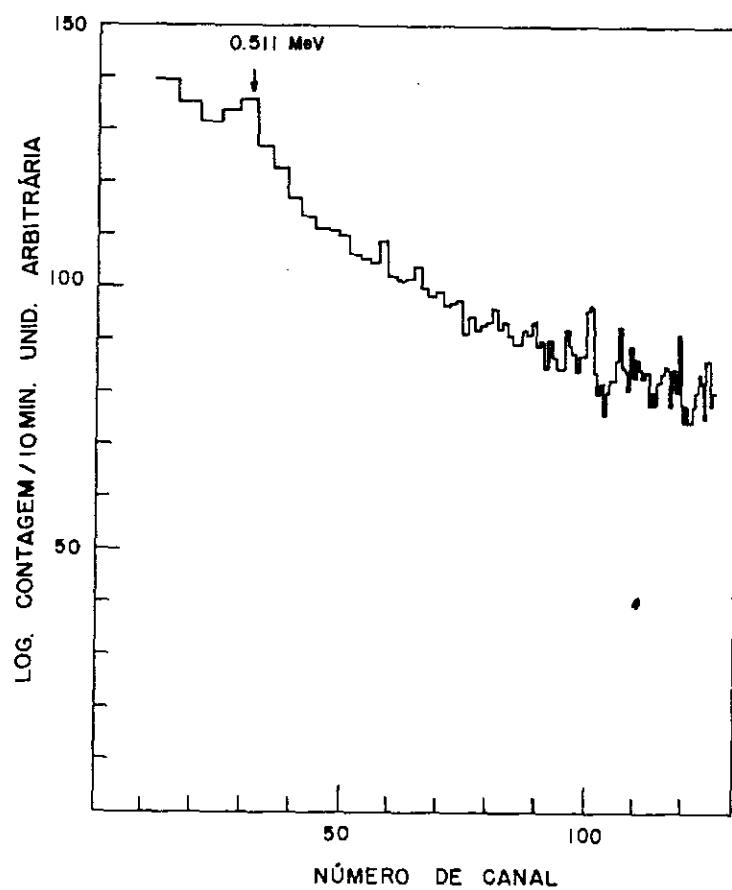


Fig. 6 - Espectro típico obtido na rota Brasília-Bauru a 41000 pés.

TABELA 1

RESULTADOS OBTIDOS DOS VÔOS FEITOS A ALTITUDES DE 39.000 e 41.000

FITA	PERCURSO	HORAS	ALTITUDE 10 ³ PÉS	CONTAGENS EM 10 mn		LATITUDE S MEDIA	P _C
				$\sum_1$	$\sum_2$		
1A (29/08)	Uberlândia	16:11	39	22 259	4 348	20,38 ⁰	11,65
	Bebedouro	16:21	39	22 127	4 252	21,57 ⁰	11,44
	Avare	16:31	39	22 424	4 535	22,70 ⁰	11,25
1B	São Manuel	16:59	41	22 970	4 401	22,30 ⁰	11,32
	Sertãozinho	17:09	41	22 546	4 407	21,31 ⁰	11,49
	Ituberava	17:19	41	22 098	4 458	20,22 ⁰	11,67
2A	Nova Ponte	17:41	41	21 363	4 350	18,97 ⁰	12,05
		17:47	41	21 201	4 383	18,07 ⁰	12,11
	Paracatu	17:57	41	21 241	4 254	17,05 ⁰	12,19
11A (10/09)	(Brasília)	11:59	39	22 064	4 195	13,08 ⁰	12,68
		12:09	39	21 882	4 129	12,53 ⁰	12,71
		12:18	39	21 718	4 061	11,67 ⁰	12,77
12A		12:32	39	21 670	4 050	10,88 ⁰	12,88
		12:45	41	21 447	4 209	9,82 ⁰	12,91
		12:55	41	21 227	4 048	9,11 ⁰	12,93
13A		13:05	41	20 336	4 062	8,48 ⁰	12,95
	(Manaus)	13:16	41	21 059	4 127	7,42 ⁰	12,96
	(Manaus)	13:39	39	20 717	4 004	5,73 ⁰	13,02
15A		18:06	43	20 880	4 539		
		18:21	39 - 19	21 384	3 240		
		18:30	19 - 12	15 150	1 485		
16A	(Boa Vista)	18:34	10 - 3	11 791	500		

Hã de se esperar na faixa $\sum_2$ uma contribuição de origem cõsmica bem maior que na faixa $\sum_1$. As contagens sã expressas em pulsos por 10 minutos, mesmo que a duraçã da medida seja diferente. A latitude mēdia do trecho percorrido, durante o qual o espectro foi armazenado, ẽ dado de acordo com a rigidez vertical de corte e determinado para latitude e longitude correspondentes (Figura 7), obtida ã partir do trabalho de Palmeira et al. 1976.

Na Figura 8, apresentam-se as variações das contagens $\sum_2$ (2.82 - 4.95 MeV), em funçã da rigidez de corte vertical. Uma nĩtida correlaçã aparece na tendẽncia jã esperada, ou seja, quanto maior a rigidez, menor a taxa de contagem de origem cõsmico. Isto mostra que quando se aproxima do equador, tem-se menos radiaçã gama presente na atmosfera.

A Tabela 2 apresenta os resultados de vãrios cãculos de regressã linear ou de funçã potẽncia. Pode-se notar a boa correlaçã das contagens $\sum_2$ com a rigidez e a mã correlaçã das contagens $\sum_1$ com rigidez.

Na Figura 9, mostram-se as variações das contagens $\sum_1$ e $\sum_2$ em funçã da latitude, numa regiã prõxima ao equador geogrãfico, Manaus (Am) e Boa Vista (Ro). Nota-se que hã um nĩtido aumento de $\sum_2$ em funçã da altitude.

CONCLUSÃO

Mostrou-se que, utilizando um detetor simples, com eletrônica associado, miniaturizada e desenvolvida para ser usada a bordo de balões, tem-se uma boa eficiẽncia para medidas a bordo de aeronaves diversas.

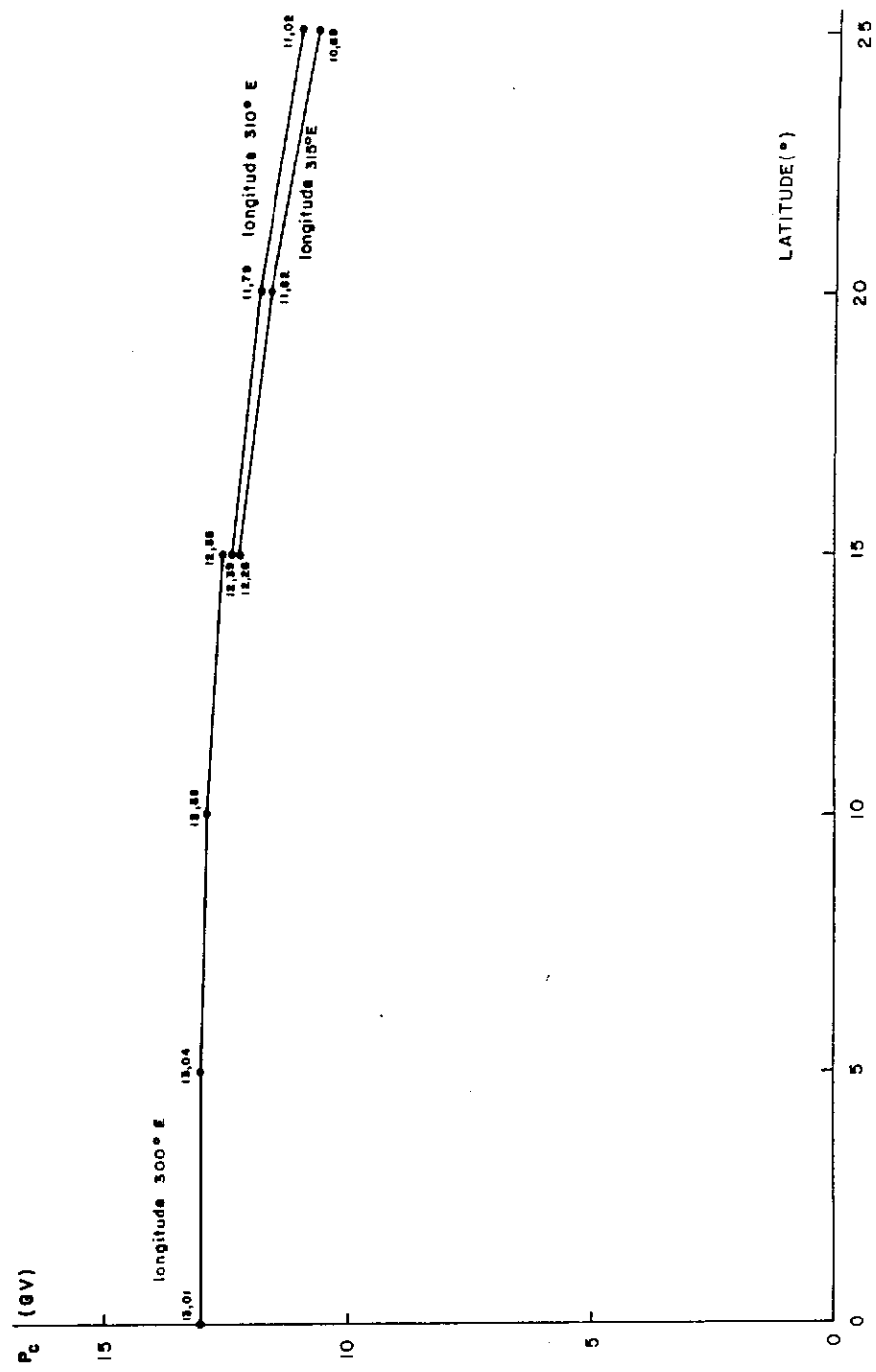


Fig. 7 - Variação da regidez P_c em função da latitude nas regiões sobrevoadas.
Fonte: PALMEIRA et al. (1976).

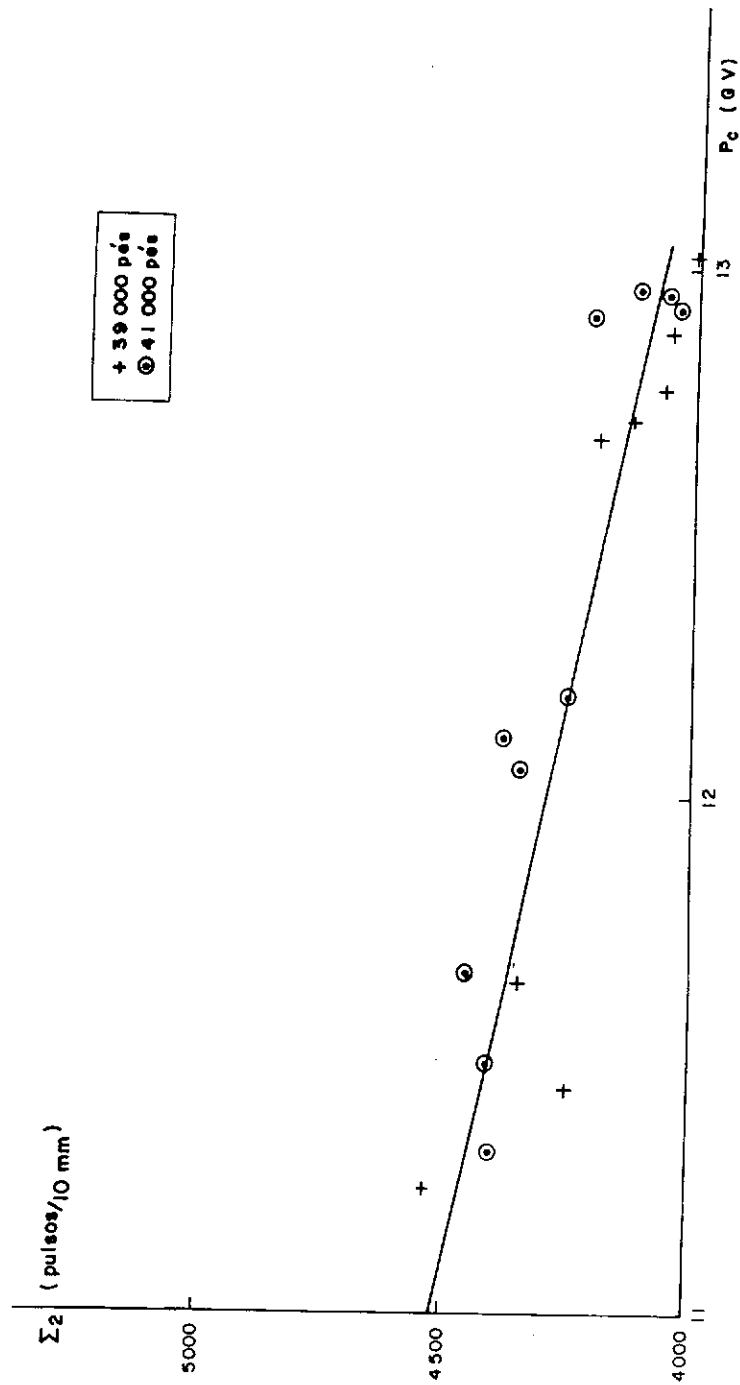


Fig. 8 - Variação das contagens em função da rigidez de corte vertical (P_c).

TABELA 2

RESULTADOS DE VÁRIOS CÁLCULOS DE REGRESSÃO
LINEAR OU DE FUNÇÃO POTÊNCIA

FUNÇÃO	y	x	ALTITUDE x 10 ³ PÉS	NÚMERO DE PONTOS	a	b	r
$y = a + bx$	$\sum_2$	Pc	39 e 41	18	6952	- 221,1	- 0,893
$y = a + bx$	$\sum_2$	Pc	39	8	6948	- 223,7	- 0,907
$y = a + bx$	$\sum_2$	Pc	41	10	6910	- 215,4	- 0,914
$y = a + bx$	$\sum_1$	Pc	39	8	25574	- 546,0	- 0,747
$y = a + bx$	$\sum_1$	Pc	41	10	30768	- 760,3	- 0,791
$y = a + bx$	$\sum_2$	lat	39 e 41	18	3853	- 25,5	- 0,901
$y = a + bx$	$\sum_1$	lat	39 e 41	18	20488	- 75,8	- 0,728
$y = ax^b$	$\sum_2$	Pc	39	8	20768	- 0,638	- 0,885
$y = ax^b$	$\sum_2$	Pc	41	10	19954	- 0,616	- 0,896

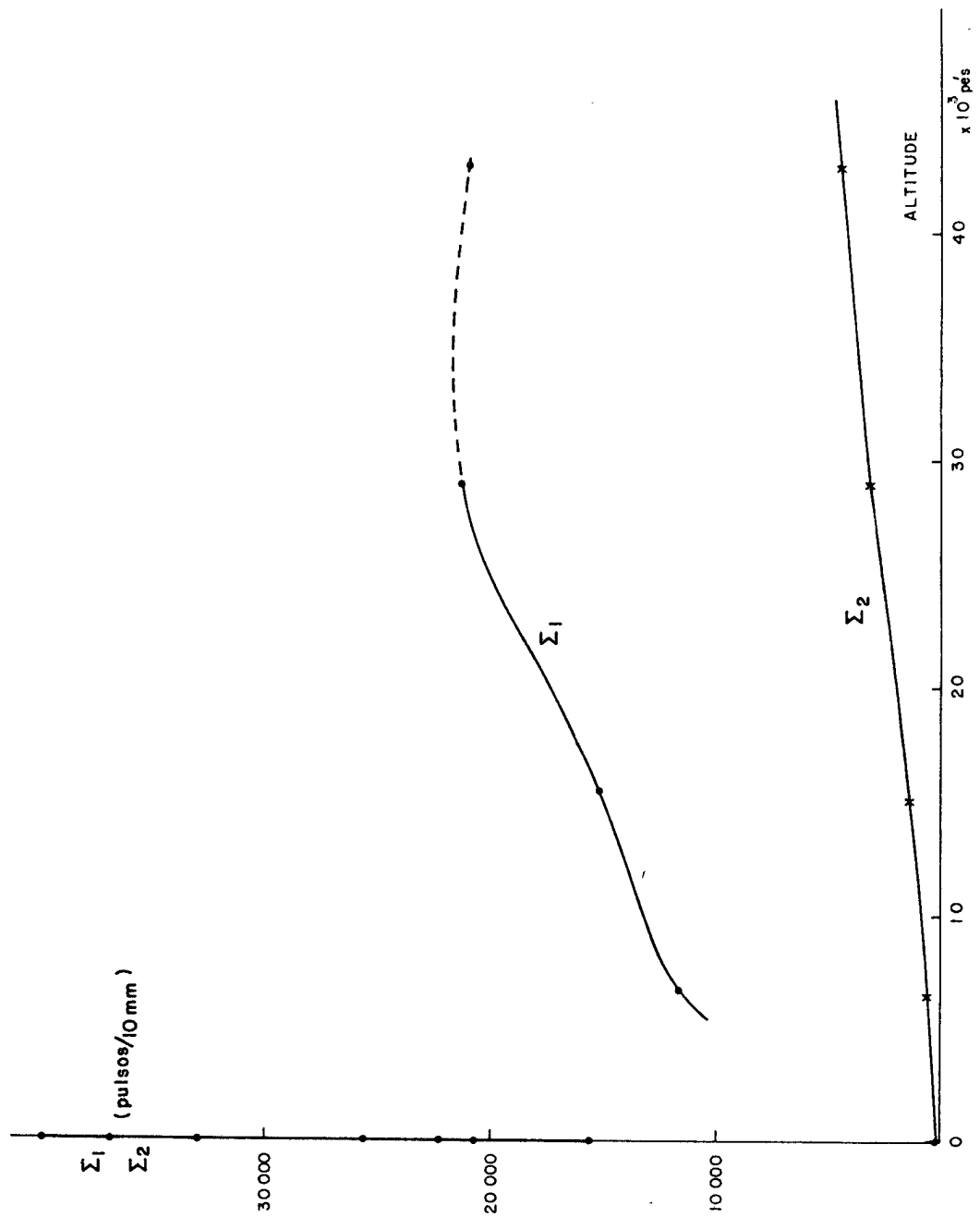


Fig. 9 - Variação das contagens Σ_1 (0,41 $\rightarrow$ 2,81 MeV) e Σ_2 (2,82 $\rightarrow$ 4,95 MeV) em função da altitude.

A variação do fluxo de radiação gama entre 0.3 - 5.0 MeV foi medido desde o equador até uma latitude de 24°S , mostrando uma nítida variação entre a latitude e a altura.

Propõe-se novas medidas transversalmente às linhas de campo magnético e em vários níveis, para verificar a interferência do campo magnético na produção da radiação gama, próximo ao equador e no Sul, devido a influência da Anomalia Magnética Sul Americana.

AGRADECIMENTO

Ao Dr. Nelson de Jesus Parada que permitiu a execução des
sa pesquisas e ao NSF-USA que permitiu a utilização da aeronave Sabreli
ner N-307-D para a realização das medidas.

BIBLIOGRAFIA

- COSTA, J.M. da *Observação da radiação gama de baixa energia (0,05-3,0 MeV) com telescópio Ge(Li) na latitude geomagnética 12°S*. Tese de Doutorado em Ciência Espacial. São José dos Campos, INPE. No Prelo
- DOIG, R. The natural gamma-ray flux: in situ analysis; *Geophysics*, 33 (2):311-328, apr. 1968.
- FERREIRA, C. *Espectrometria gama de campo; determinação das condições de detecção, aplicação ao mapeamento de uma jazida de apatita*. Tese de mestrado em ciências naturais em geofísica. Salvador. Universidade Federal da Bahia, 1973.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *Gamma-ray surveys in uranium exploration*. Vienna, 1979. (Technical Reports Series nº 186).
- LING, J.C. *Spectral and angular distributions of low energy atmospheric gamma-ray at $\lambda = 40^\circ$* . PhD Thesis. San Diego, University of California, 1974.
- MARTIN, I.M. *Détermination des flux de photons gamma de basse énergie dans l'atmosphère*. Thèse de Doctorat ès Sciences Physiques. Toulouse. Université de Toulouse. Faculté des Sciences, 1974.
- MARTIN, I.M. *Variation du flux de neutrons et de rayons gamma d'origine cosmique en fonction de la latitude*. Thèse de Doctorat de spécialité, option Physique spatiale. Toulouse, Université de Toulouse. Faculté des Sciences, 1970.
- MERO, J.L. Uses of the gamma-ray spectrometer in mineral exploration. *Geophysics*, 25(sf):1054-1076, 1960.

NORDEMANN, D. *Emissions gamma de quelques météorites et roches terrestres, évaluation de la radioactivité du sol lunaire.* Thèse de Doctorat ès Sciences Physiques. Paris, Université de Paris. Faculté des Sciences, 1966.

PALMEIRA, R.A.R.; SHEA, M.A.; SMART, D.F. *Vertical cutoff rigidities over south America for epoch 1075.0.* São José dos Campos, INPE, dez. 1976. (INPE-985-PE/051).

PUSKIN, J.S. *Low energy gamma-ray in the atmosphere.* SAO, 1970. (SAO Special Report, 318).