

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**INSTITUTO DE FÍSICA
CAIXA POSTAL 20516
01498 - SÃO PAULO - SP
BRASIL**

PUBLICAÇÕES

IFUSP/P-880

**UM ESTUDO DETALHADO DA RADIAÇÃO
DE FUNDO NATURAL**

Renato Ejnisman

Instituto de Física, Universidade de São Paulo

Novembro/1990

UM ESTUDO DETALHADO DA RADIAÇÃO DE FUNDO NATURAL

RESUMO: Foi realizada uma medida do fundo radioativo natural na sala de medidas do Laboratório do Acelerador Linear (LAL), utilizando-se um detector de HPGe de 155 cm³ de volume. Os resultados obtidos permitiram a identificação de algumas transições de radioisótopos da família do ²³⁵U, além daquelas das famílias do ²³⁸U, do ²³²Th e, ainda, outros radioisótopos.

INTRODUÇÃO: Dos radioisótopos normalmente encontrados em uma medida de radioatividade natural, a grande maioria pertence a uma das três séries radioativas a saber: série do ²³⁸U, do ²³²Th e do ²³⁵U. As três famílias são também comumente chamadas¹ de (4n+2), (4n), (4n+3), respectivamente, já que o número de massa de seus componentes pode ser expresso dessa forma.

Destas séries, a do ²³⁵U é a menos frequentemente detectada devido à pequena porcentagem do isótopo na natureza (em uma amostra de U natural, 99,27% é constituído pelo ²³⁸U, e apenas 0,72% pelo ²³⁵U)².

O decaimento dos núcleos destas séries, ocorre, preferencialmente, por emissão de alfa e/ou beta. Um esquema da sequência de decaimentos radioativos de cada série aparece na figura 1.

Dos elementos que podem aparecer numa medida de fundo radioativo e que não pertencem a nenhuma das séries citadas, o mais comum é o ⁴⁰K, encontrado no material que constitui as paredes da construção ou mesmo no solo abaixo da mesma.

DA PARTE EXPERIMENTAL: Devido à baixa atividade da experiência, utilizou-se um detector de Ge hiperpuro, coaxial, vertical, de marca ORTEC (série GEM 33190-p) com grande

volume (56,2 mm de diâmetro e 63,9 mm de comprimento; 155 cm³ de volume). Assim, aumenta-se consideravelmente a eficiência de detecção. A resolução do detector, obtida para o pico de 1461 keV do ⁴⁰K, foi de 2,38 keV.

O sistema de aquisição de dados está ilustrado na fig. 2. Os dados foram adquiridos durante 48 horas consecutivas, num final de semana, quando há menor circulação de pessoas pela sala, e portanto menor troca de ar com o exterior (com provável acumulação do gás Radônio). O sistema de condicionador de ar estava ligado, o que também favorece uma troca menor de ar com o exterior. Além disso, o acelerador linear não estava em funcionamento, o que garante uma menor taxa da componente contínua do espectro de fundo radioativo.

Realizou-se, também, uma medida simples utilizando uma fonte de ⁶⁰Co. A finalidade desta medida era usar os dois fotopicos do ⁶⁰Co para a realização de uma primeira calibração de energia.

Com esta calibração preliminar, pudemos identificar alguns dos picos mais intensos do espectro do fundo radioativo e, assim, realizar uma autocalibração de energia de maior precisão que a inicial. Esta calibração dividia-se em duas partes: uma para baixas energias (menores que 730 keV) e outra para energias acima daquele valor. Os valores de energia obtidos para os fotopicos do espectro são compatíveis com os das transições encontrados na literatura²⁻⁵.

A energia e a área dos fotopicos do espectro foram obtidas através do programa IDEFIX⁶ pelo ajuste de gaussiana com largura calibrada mais um polinômio do segundo grau.

Os resultados obtidos na experiência encontram-se na tabela 1. Nesta, observa-se, na primeira coluna, a energia obtida. Aparece, também, a intensidade (em contagens por minuto) e a intensidade relativa (100% para o pico de 1460 keV do ⁴⁰K) de cada gama. A origem destes também é mostrada na tabela, onde aparece o nuclídeo emissor ou o processo que o originou (como escape duplo, simples ou radiação-X, caso este em que não é mostrado o emissor devido ao fato de vários elementos emitirem com energias

muito próximas , indistinguíveis pela resolução do detector) .

Além disso , o espectro obtido aparece na figura 3 (em escala logarítmica) . Este foi dividido em seis intervalos correspondentes às figuras 4 a 9 , nas quais é assinalada a energia das linhas de maior intensidade .

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS: Devido ao grande volume do detector e do tempo de duração da medida , foi possível obter todos os gamas mais intensos e de energia maior do que , aproximadamente , 100 keV das séries do ^{238}U , do ^{232}Th e da série do ^{235}U . Não havia sido detectada nenhuma transição desta última série na sala de medidas até a realização desta experiência (com exceção da linha de 186 keV que é uma mistura de contribuições do ^{226}Ra , ^{235}U , e ainda um escape duplo)⁵ .

Aproveitando-se deste fato , resolveu-se constatar a proporção isotópica entre o ^{238}U e o ^{235}U . O resultado esperado era ²:

$$\frac{N_{238}}{N_{235}} = \frac{99,275}{0,720} = 137,88$$

$$\frac{N_{238}}{N_{235}} = 0,720$$

O resultado obtido , utilizando as transições de 162,7 keV e 1001,1 keV para o ^{238}U e ^{235}U , respectivamente , foi de :

$$\frac{N_{238}}{N_{235}} = 144,45 \rightarrow 51,82$$

$$\frac{N_{238}}{N_{235}}$$

e é , portanto , compatível com o esperado , embora seja muito impreciso . Isso deve-se , quase que exclusivamente , à grande incerteza na intensidade obtida para o pico do ^{235}U utilizado (incerteza relativa de cerca de 35%) .

É também interessante o fato de terem sido detectados ^{137}Cs , ^{134}Cs e ^{60}Co . Apesar de o primeiro ser frequentemente encontrado no fundo radioativo em medidas realizadas no hemisfério norte (já que é , juntamente com o ^{134}Cs , subproduto de fissão) , o mesmo não acontece no hemisfério sul , onde ocorreram menos detonações de bombas nucleares . Por esta razão e , pelo fato de esses isótopos serem muito utilizados como fontes de calibração , o seu aparecimento no levantamento de fundo radioativo deve ser devido à presença

de fontes desses isótopos na sala .

Finalmente , resta comentar algo sobre o ajuste dos picos de escape e de radiação-X . Para que fosse possível atingir convergência no ajuste , era necessária a utilização de uma calibração de largura específica para esses picos . Entretanto , por dificuldades de análise ou mesmo de ordem física (no caso de raio-X) , não foi possível realizar tal calibração . Assim , utilizou-se a mesma calibração de largura obtida através dos picos de absorção total de energia , o que pode ter provocado algum tipo de erro sistemático nas intensidades destes picos . Este erro levaria a subestimar as intensidades dos escapes já que a largura destes deve ser maior que dos picos de absorção total de energia , devido ao efeito Doppler (principalmente , para os escapes simples) . Notar-se-á também que nem todos os escapes correspondentes a cada gama de energia maior que 1022 keV aparecem na tabela 1 pois nem todos foram encontrados - por terem intensidades muito baixas .

CONCLUSÃO : O presente levantamento do fundo radioativo da sala de medidas do LAL permitiu a identificação da maioria das transições gama conhecidas das três séries radioativas naturais , acima de 100 keV . Pela sua qualidade , este levantamento é de grande utilidade , e poderá auxiliar na avaliação da interferência da radiação de fundo em medidas de espectroscopia .

AGRADECIMENTOS : Gostaria de agradecer a ajuda prestada pelo pessoal do Laboratório do Acelerador Linear e , em especial , aos professores : Iuda Dawid Goldman , Manoel T. F. da Cruz , Vito R. Vanin e Paulo R. Pascholati , pelas suas sugestões e pela sua paciência em esclarecer as muitas dúvidas surgidas durante a realização do trabalho .

REFERÊNCIAS :

- 1- Irving Kaplan
" Nuclear Physics "
Addison-Wesley Publishing Co. (1963)
- 2- C. Michael Lederer & Virginia S. Shirley
" Table of Isotopes "
Wiley (1978)
- 3- E. Browne & R. B. Firestone
" Table of Radioactive Isotopes "
Wiley (1986)
- 4- U. Reus & W. Westmeier
" Catalog of Gamma Rays from Radioactive Decays "
Atomic Data and Nuclear Data Tables 29 , 1-192 (1983)
- 5- Eduardo Mucciolo
Relatório de mestrado (FAPESP)
- 6- Philippe Gouffon
Manual do Programa IDEFIX
Documentação de Programas do PDP-11 do LAL
- 7- Ênio Bueno Pereira
" Caracterização da Produção do ²²²Rn no Campo do
Cercado C-09 "
Tese de mestrado IAG (1977)

ORIGEM	ENERGIA (keV)	INTENSIDADE(cpm)	INTENSID. REL.
raio-X	72,2(1)	3,75(31)	2,06
raio-X + ED	74,12(8)	18,55(34)	10,21
raio-X	76,38(8)	23,12(34)	12,73
raio-X	83,77(9)	5,25(30)	2,89
raio-X	86,54(8)	11,16(33)	6,14
raio-X + ED	89,29(8)	11,96(69)	6,58
raio-X	92,38(7)	10,57(31)	5,82
raio-X + ED	97,8(1)	2,76(39)	1,52
raio-X	100,0(2)	4,01(39)	2,21
raio-X	104,9(1)	2,39(39)	1,31
raio-X	113,0(2)	1,16(31)	0,64
raio-X	114,7(2)	1,22(31)	0,67
²²⁸ Ac	129,05(7)	4,58(32)	2,52
²³⁵ U + ²²⁷ Ac	144,4(2)	1,66(39)	0,91
²²⁸ Ac + ²²⁷ Ac	154,23(9)	3,77(43)	2,08
²³⁵ U	163,3(3)	0,80(28)	0,44
²²⁶ Ra + ²³⁵ U + ED	186,27(4)	15,74(23)	8,86
²²⁸ Ac	200,1(2)	1,03(21)	0,57
²³⁵ U	205,2(1)	1,25(21)	0,69
²²⁸ Ac	209,50(4)	10,84(21)	5,97
²²⁸ Ra + ED	216,6(5)	0,39(26)	0,21
²¹² Pb	238,88(3)	121,06(42)	66,64
²²⁴ Ra	241,29(5)	10,61(62)	5,84
²¹⁴ Pb	242,23(4)	15,61(65)	8,59
²¹⁴ Pb + ED	259,2(1)	1,44(27)	0,79
²²⁸ Ac + ²²⁷ Ac	270,42(4)	11,86(32)	6,53

TABELA 1 : Resultados da medida do fundo radioativo da sala de medidas do Laboratório do Acelerador Linear . Na primeira coluna aparece a origem do gama (nuclídeo emissor ou somente o efeito que o produz, para os casos de : raio-X escape simples - ES - ou escape duplo - ED -). A intensidade é medida em contagens por minuto (cpm) . Na última coluna , aparece a intensidade relativa de cada linha , com 100% para a transição de 1461 keV do ⁴⁰K .

ORIGEM	ENERGIA (keV)	INTENSIDADE(cpm)	INTENS. REL.	ORIGEM	ENERGIA (keV)	INTENSIDADE(cpm)	INTENS. REL.
²⁰⁸ Tl	277,62(4)	5,85(26)	3,11	²¹⁴ Bi + ED	609,31(7)	80,34(20)	44,21
²¹² Bi	288,6(2)	0,93(20)	0,51	ED	616,2(7)	0,26(10)	0,14
²¹⁴ Pb	295,40(3)	41,84(26)	23,03	ED	640,6(7)	0,25(10)	0,14
²¹² Pb	300,28(4)	8,67(22)	4,78	¹³⁷ Cs + ES	661,5(3)	0,66(10)	0,37
²²⁸ Ac	321,7(2)	0,46(17)	0,25	²¹⁴ Bi	665,4(1)	2,93(13)	1,61
²²⁸ Ac + ²¹² Bi	328,15(4)	7,45(14)	4,10	²¹⁴ Bi	702,9(3)	0,73(9)	0,40
²²⁸ Ac	332,6(1)	0,87(17)	0,48	²²⁸ Ac + ED	707,7(3)	0,65(11)	0,36
²²⁸ Ac	338,45(3)	28,50(19)	15,69	²¹⁴ Bi	719,9(3)	0,67(10)	0,37
²²⁸ Ac	341,0(1)	0,76(14)	0,42	²²⁸ Ac + ²¹² Bi + ES	727,3(1)	14,09(12)	7,75
²²⁷ Ac	349,8(2)	0,74(14)	0,41	ED	742,4(1)	0,61(18)	0,33
²¹⁴ Pb	352,04(4)	77,17(22)	42,48	²²⁸ Ac	755,34(6)	1,91(7)	1,05
ED	362,1(5)	0,31(15)	0,17	²⁰⁸ Tl	763,46(7)	1,32(7)	0,73
ED	378,4(4)	0,38(15)	0,21	²³⁸ U	766,4(2)	0,56(8)	0,31
²¹⁴ Bi + ED	387,0(3)	0,53(15)	0,29	²¹⁴ Bi	768,41(5)	7,77(10)	4,28
²¹⁴ Bi	388,7(3)	0,69(15)	0,38	²²⁸ Ac	772,34(5)	2,68(7)	1,47
²²⁷ Ac	401,8(4)	0,49(10)	0,27	²²⁸ Ac	782,20(9)	0,83(9)	0,45
²²⁷ Ac + ²¹⁴ Bi	405,5(4)	0,28(11)	0,16	²¹⁴ Bi + ²¹² Pb + ²¹⁴ Pb	785,71(5)	3,83(9)	2,11
²²⁸ Ac	409,52(5)	4,23(11)	2,33	²²⁸ Ac + ¹³⁴ Cs	795,0(2)	8,90(13)	4,90
ED	439,0(2)	1,15(21)	0,63	²¹⁴ Bi	806,23(6)	2,01(10)	1,10
²¹² Bi + ²¹⁴ Bi + ED	453,4(2)	0,94(23)	0,52	²¹⁴ Bi + ES	820,7(3)	0,22(7)	0,12
²¹⁴ Pb	461,9(4)	0,78(24)	0,43	ED	825,3(2)	0,35(7)	0,19
²²⁸ Ac	463,07(6)	9,91(25)	5,44	²²⁸ Ac + ²²⁷ Ac	830,73(7)	1,05(7)	0,58
ED	474,4(3)	0,46(13)	0,25	²²⁸ Ac	835,71(5)	2,98(7)	1,64
²²⁸ Ac + ED	478,3(2)	0,46(10)	0,25	²²⁸ Ac	840,02(5)	2,16(7)	1,19
²¹⁴ Pb	480,5(2)	0,45(10)	0,25	²⁰⁸ Tl	860,59(4)	8,39(10)	4,62
²¹⁴ Pb + ED	487,1(1)	0,73(9)	0,40	ES	867,2(4)	0,16(10)	0,09
e ⁺ /e ⁻ + ²⁰⁸ Tl	510,76(2)	32,90(16)	18,11	ES	873,9(3)	0,25(9)	0,14
²¹⁴ Pb + ED	533,3(6)	0,26(11)	0,14	²¹² Bi	893,4(1)	0,70(8)	0,38
²²⁸ Ac	546,2(3)	0,25(9)	0,14	²²⁸ Ac	904,29(6)	1,34(7)	0,74
ED	560,5(8)	0,22(12)	0,12	²²⁸ Ac	911,21(35)	48,39(16)	24,64
²²⁸ Ac + ¹³⁴ Cs + ED	562,6(1)	1,84(15)	1,01	²¹⁴ Bi	934,08(4)	4,88(9)	2,68
¹³⁴ Cs + ²²⁸ Ac	570,2(3)	0,56(11)	0,32	ES	949,9(2)	1,07(11)	0,59
²²⁸ Ac	572,4(3)	0,58(11)	0,32	²¹² Bi	951,7(2)	0,57(10)	0,31
ED	565,3(7)	0,23(12)	0,13	²²⁸ Ac	968,4(1)	0,32(5)	0,18
²⁰⁸ Tl + ES	583,19(6)	62,94(26)	34,65	²²⁸ Ac	964,75(3)	9,76(11)	5,37
¹³⁴ Cs + ED	604,7(1)	1,68(9)	0,93				

ORIGEM	ENERGIA (keV)	INTENSIDADE(cpm)	INTENS. REL.
²²⁸ Ac	968,98(33)	29,07(14)	16,00
²²⁸ Ac + ES	988,0(1)	0,41(6)	0,23
ES	998,0(2)	0,40(12)	0,22
²³⁸ U	1001,04(5)	1,54(10)	0,85
ES	1026,8(4)	0,15(9)	0,08
²²⁸ Ac + ES	1033,0(1)	0,54(9)	0,30
ES*	1045,8(3)	0,24(9)	0,13
²¹⁴ Bi	1052,0(1)	0,60(6)	0,33
ES + ES	1070,1(1)	0,46(9)	0,26
²¹² Bi + ES	1078,73(8)	0,88(16)	0,48
²²⁸ Ac + ES	1087,6(3)	0,19(6)	0,11
²⁰⁸ Tl + ED	1095,0(2)	0,40(7)	0,22
²²⁸ Ac + ES	1110,9(1)	0,48(6)	0,26
²¹⁴ Bi + ES	1120,29(3)	22,38(13)	12,32
ES	1153,0(4)	0,27(9)	0,15
²¹⁴ Bi + ES	1155,10(5)	2,91(12)	1,60
⁶⁰ Co	1173,0(2)	0,34(8)	0,19
ED	1181,9(2)	0,36(8)	0,20
²¹⁴ Bi	1207,7(1)	0,67(9)	0,37
²¹⁴ Bi	1238,10(3)	8,80(11)	4,84
²²⁸ Ac	1246,8(1)	0,65(8)	0,36
ES	1253,5(1)	0,34(10)	0,19
²¹⁴ Bi	1280,94(4)	2,03(7)	1,12
⁶⁰ Co	1332,5(2)	0,40(7)	0,22
ES	1336,6(9)	0,09(5)	0,05
²¹⁴ Bi	1377,61(3)	5,91(8)	3,25
²¹⁴ Bi	1385,31(6)	1,91(5)	0,66
²¹² Bi	1401,50(4)	1,89(5)	1,04
²¹⁴ Bi	1407,94(4)	3,52(6)	1,94
²²⁸ Ac	1456,51(8)	0,81(6)	0,45
⁴⁰ K	1460,78(3)	181,69(33)	100,00

ORIGEM	ENERGIA (keV)	INTENSIDADE(cpm)	INTENS. REL.
²²⁸ Ac	1495,83(5)	1,42(8)	0,78
²²⁸ Ac	1501,54(7)	0,76(4)	0,42
²¹² Bi	1509,20(4)	2,92(5)	1,61
²¹² Bi	1512,7(1)	0,70(4)	0,26
²¹⁴ Bi	1538,51(7)	0,72(5)	0,40
²¹⁴ Bi	1543,3(1)	0,44(4)	0,24
²²⁸ Ac	1556,9(1)	0,33(4)	0,18
²²⁸ Ac	1580,42(8)	0,78(4)	0,43
²¹⁴ Bi	1583,07(8)	0,88(4)	0,48
²²⁸ Ac	1588,15(3)	4,93(6)	2,71
ED	1592,55(4)	4,72(6)	2,60
²¹⁴ Bi	1599,0(1)	0,32(3)	0,17
ES	1607,5(3)	0,13(4)	0,07
²¹² Bi	1620,70(4)	2,56(4)	1,41
²²⁸ Ac	1625,1(1)	0,40(3)	0,22
²²⁸ Ac	1630,54(4)	2,60(5)	1,43
²¹⁴ Bi	1638,25(6)	0,82(3)	0,45
²¹⁴ Bi	1661,21(5)	2,74(4)	0,74
²²⁸ Ac	1666,4(2)	0,25(4)	0,14
ES	1693,0(3)	0,31(8)	0,17
²¹⁴ Bi	1729,6(4)	3,81(6)	3,27
²¹⁴ Bi	1764,7(4)	20,07(10)	11,05
²¹² Bi	1806,2(2)	0,18(3)	0,10
²¹⁴ Bi	1838,4(1)	0,42(3)	0,23
²¹⁴ Bi	1847,39(4)	2,50(3)	1,37
ES	1936,2(2)	0,19(3)	0,10
ES	2103,40(4)	6,80(9)	3,74
²¹⁴ Bi	2118,52(5)	1,42(5)	0,78
²¹⁴ Bi	2204,06(3)	5,93(7)	3,27
²¹⁴ Bi	2293,5(1)	0,40(4)	0,21
²¹⁴ Bi	2447,66(5)	1,80(4)	0,99
²⁰⁸ Tl	2614,60(5)	50,23(17)	27,65

* - Este pico de escape apresenta uma relação entre sua intensidade e a do pico de absorção total de energia diferente do esperado. Sua origem, portanto, é duvidosa.

NÚMERO DE MASSA A

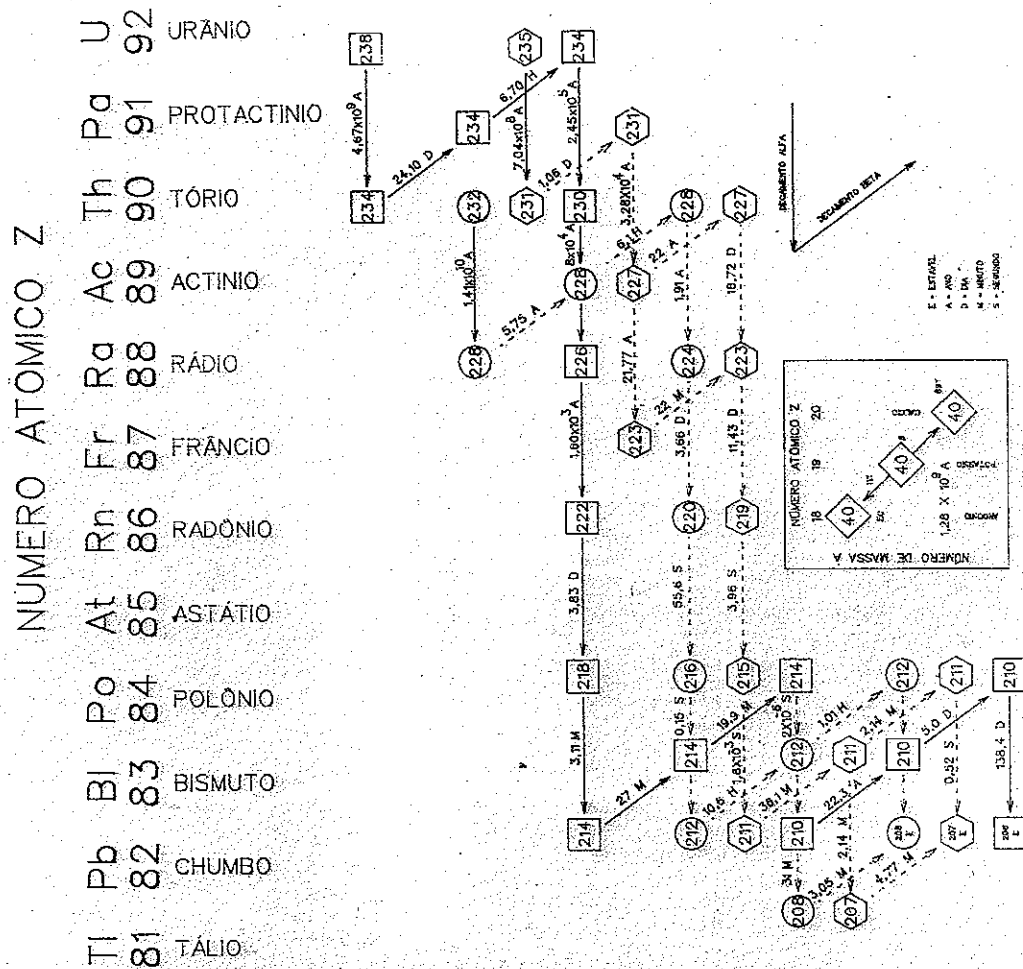


figura 1: esquema de decaimento das séries radioativas

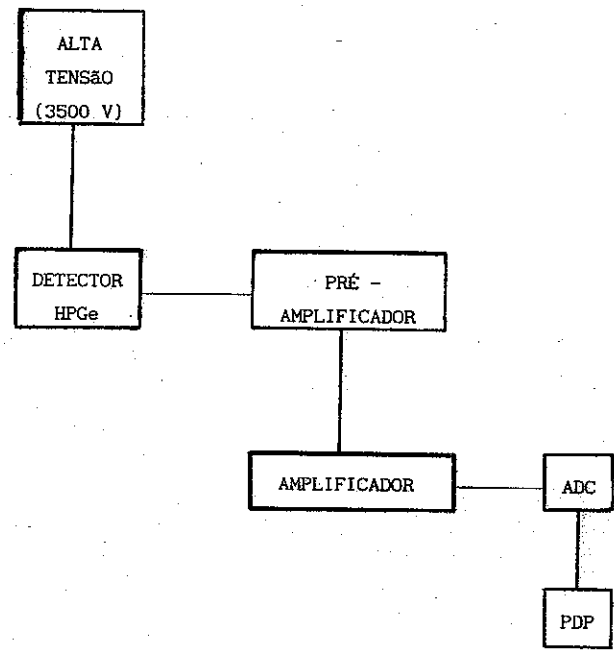


figura 2: esquema do sistema de aquisição

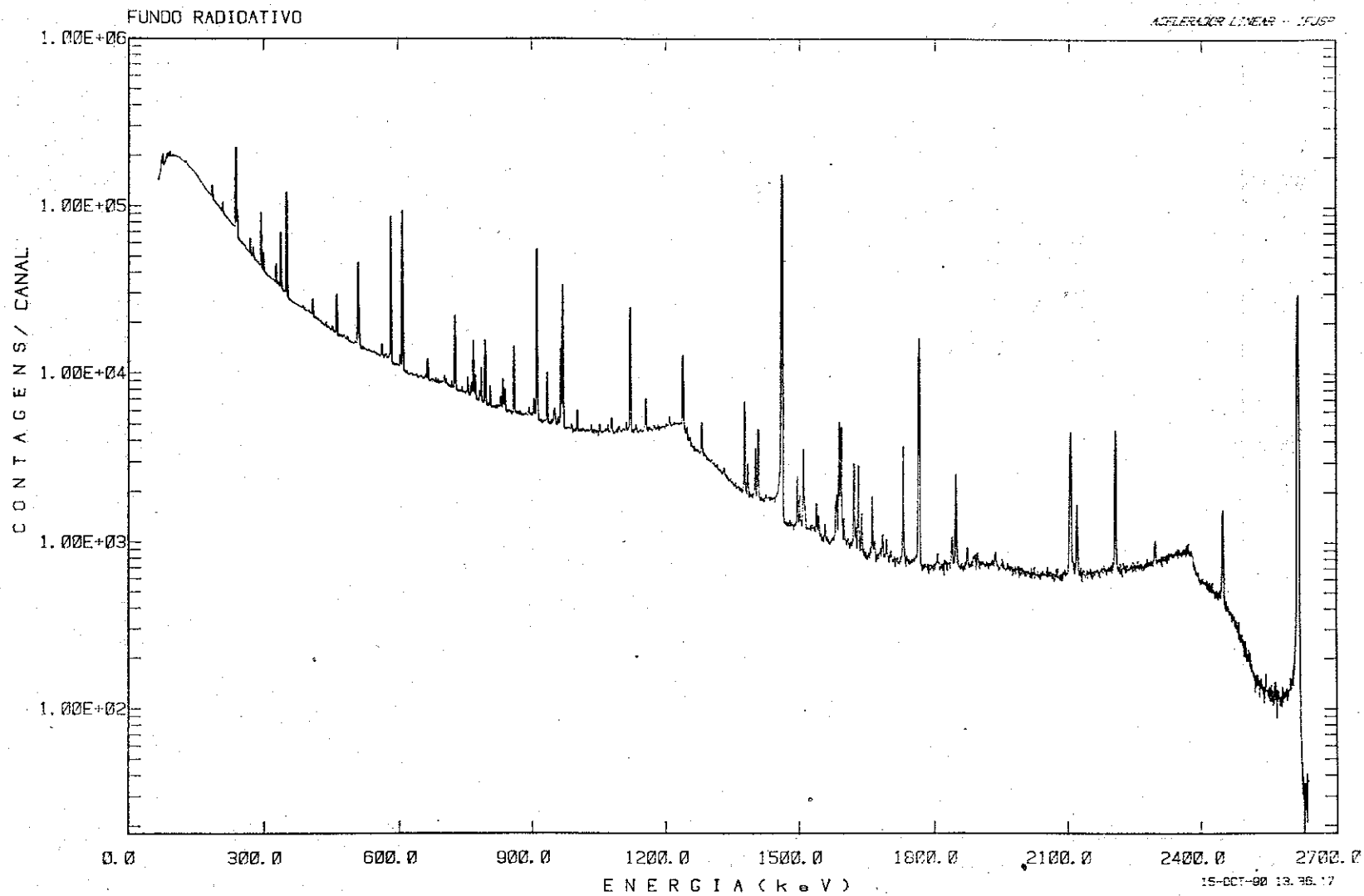


FIG. 3, ESPECTRO DO FUNDO RADIOATIVO (ESCALA LOG), UM CANAL EQUIVALE A, APROXIMADAMENTE, 0.73 KEV.

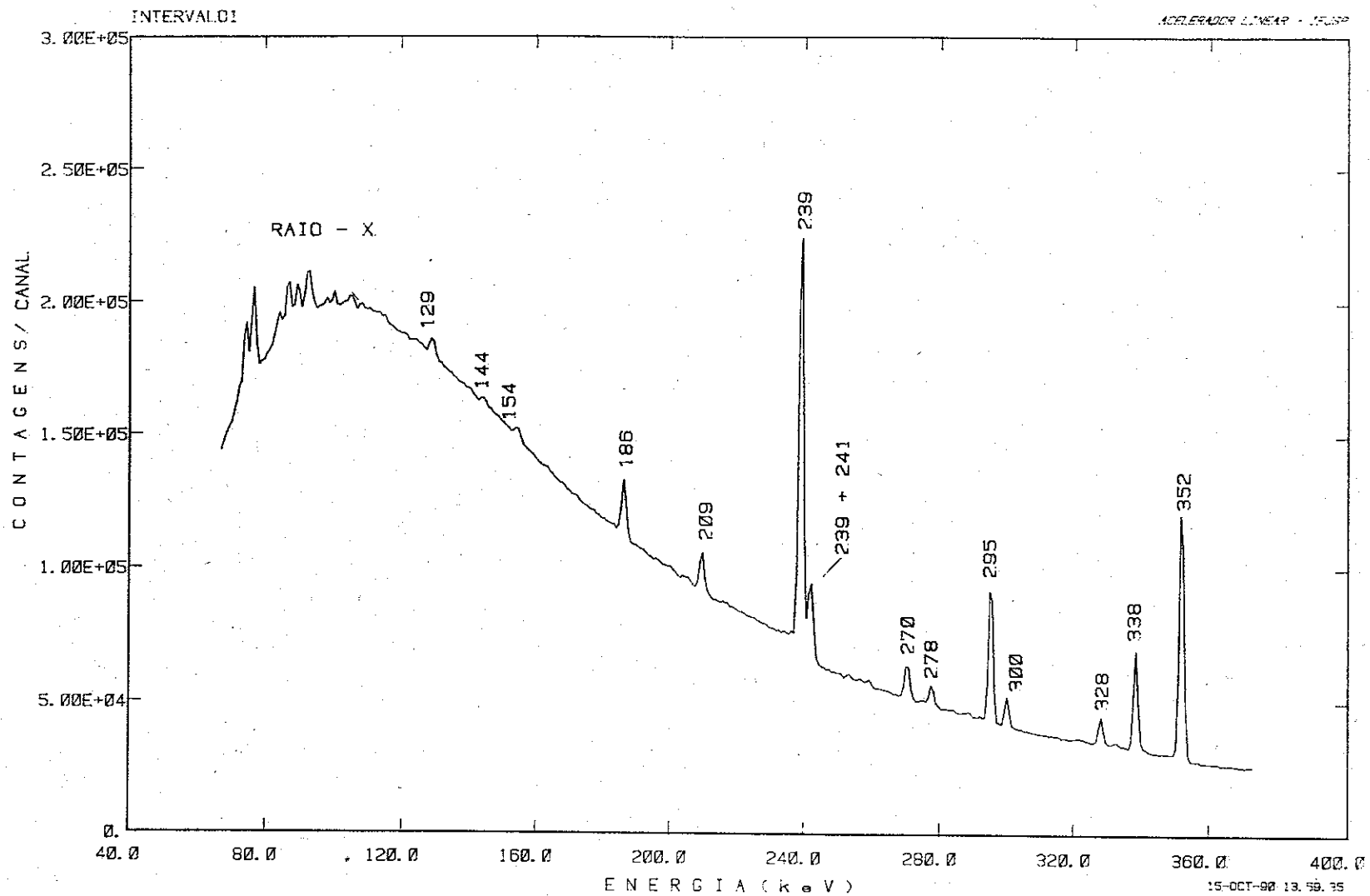


FIG. 4 : PRIMEIRO INTERVALO DO ESPECTRO DO FUNDO RADIOATIVO

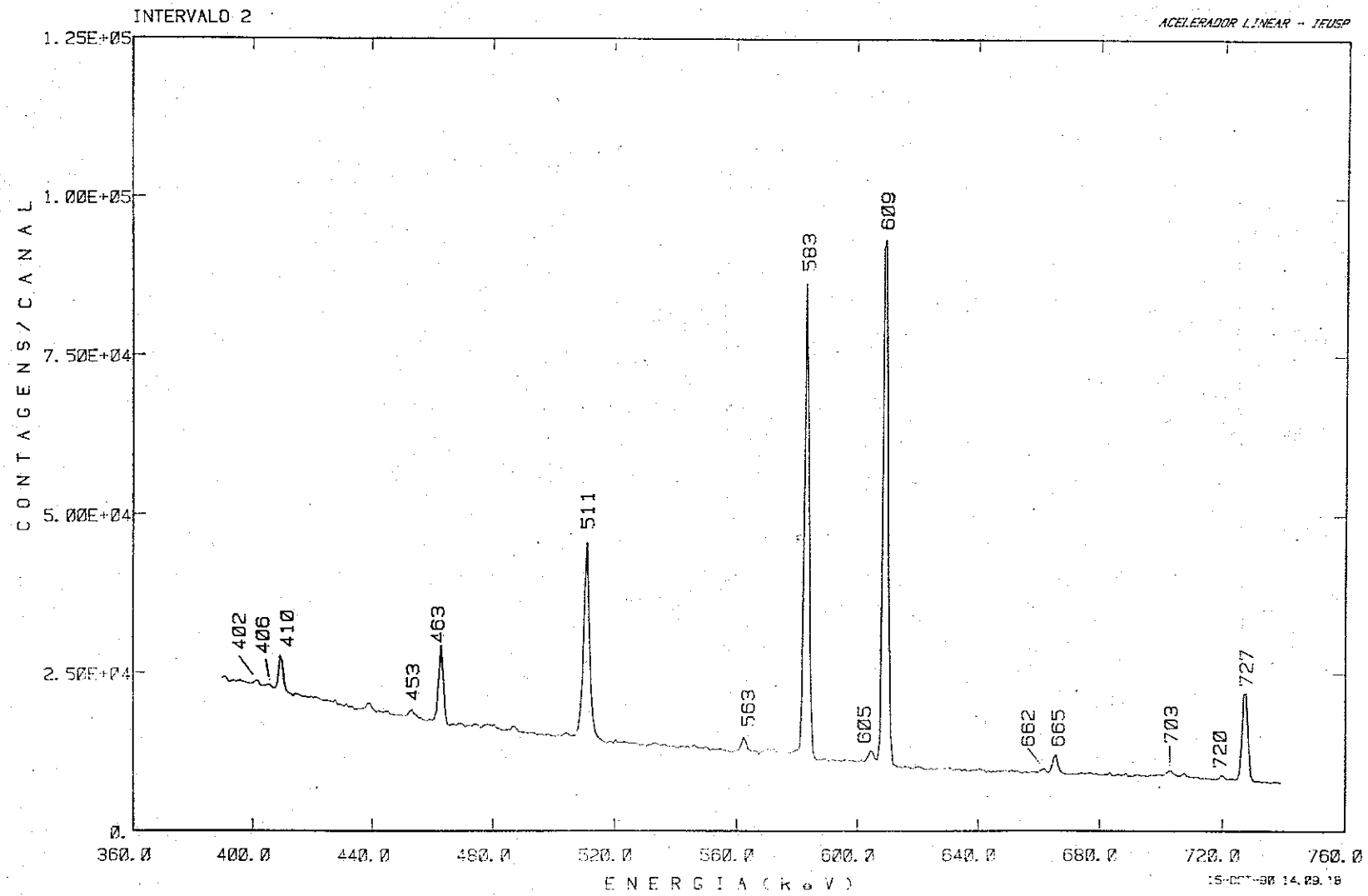


FIG. 5 : SEGUNDO INTERVALO DO ESPECTRO DO FUNDO RADICATIVO

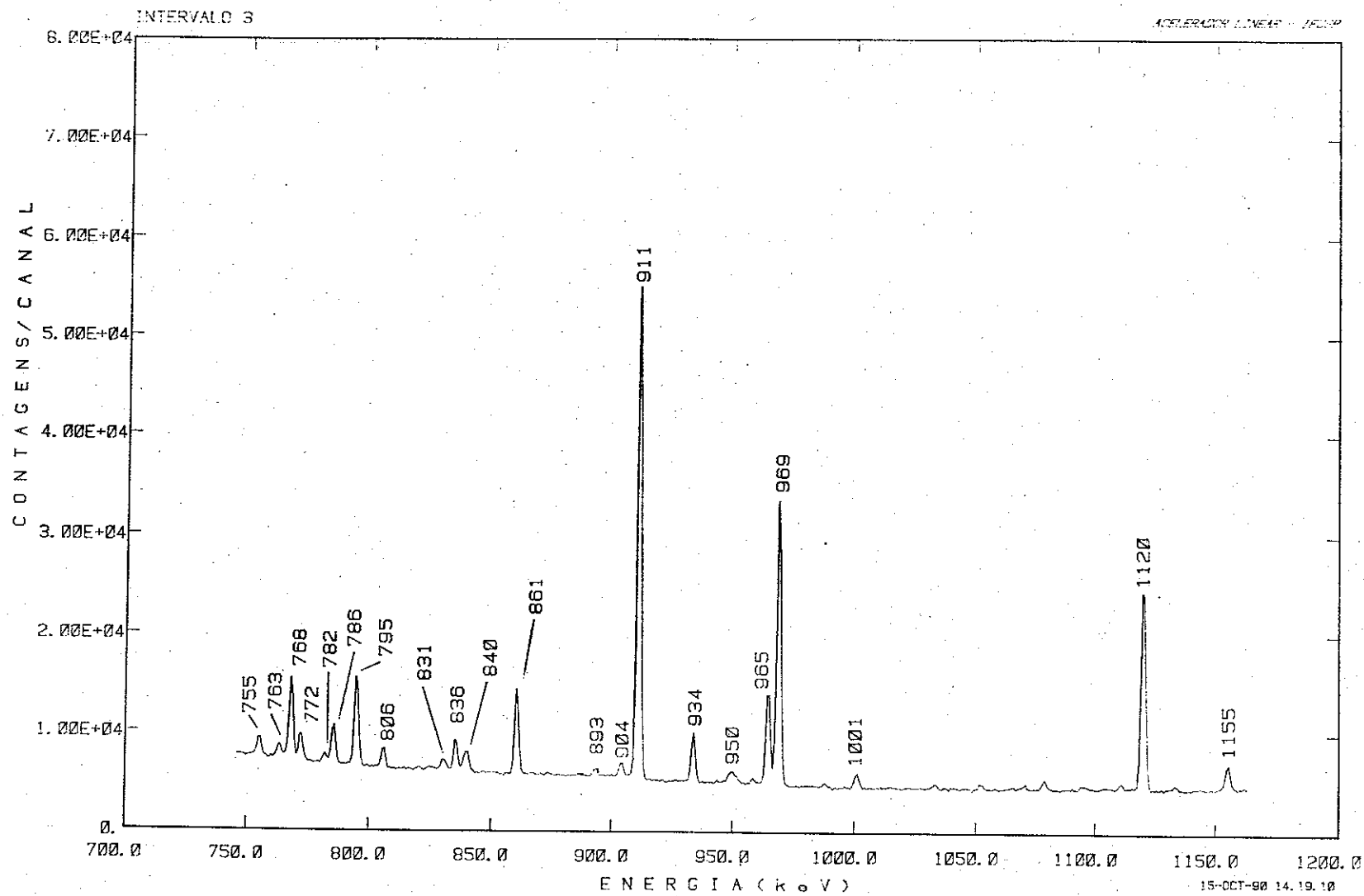


FIG. 6 : TERCEIRO INTERVALO DO ESPECTRO DO FUNDO RADIOATIVO

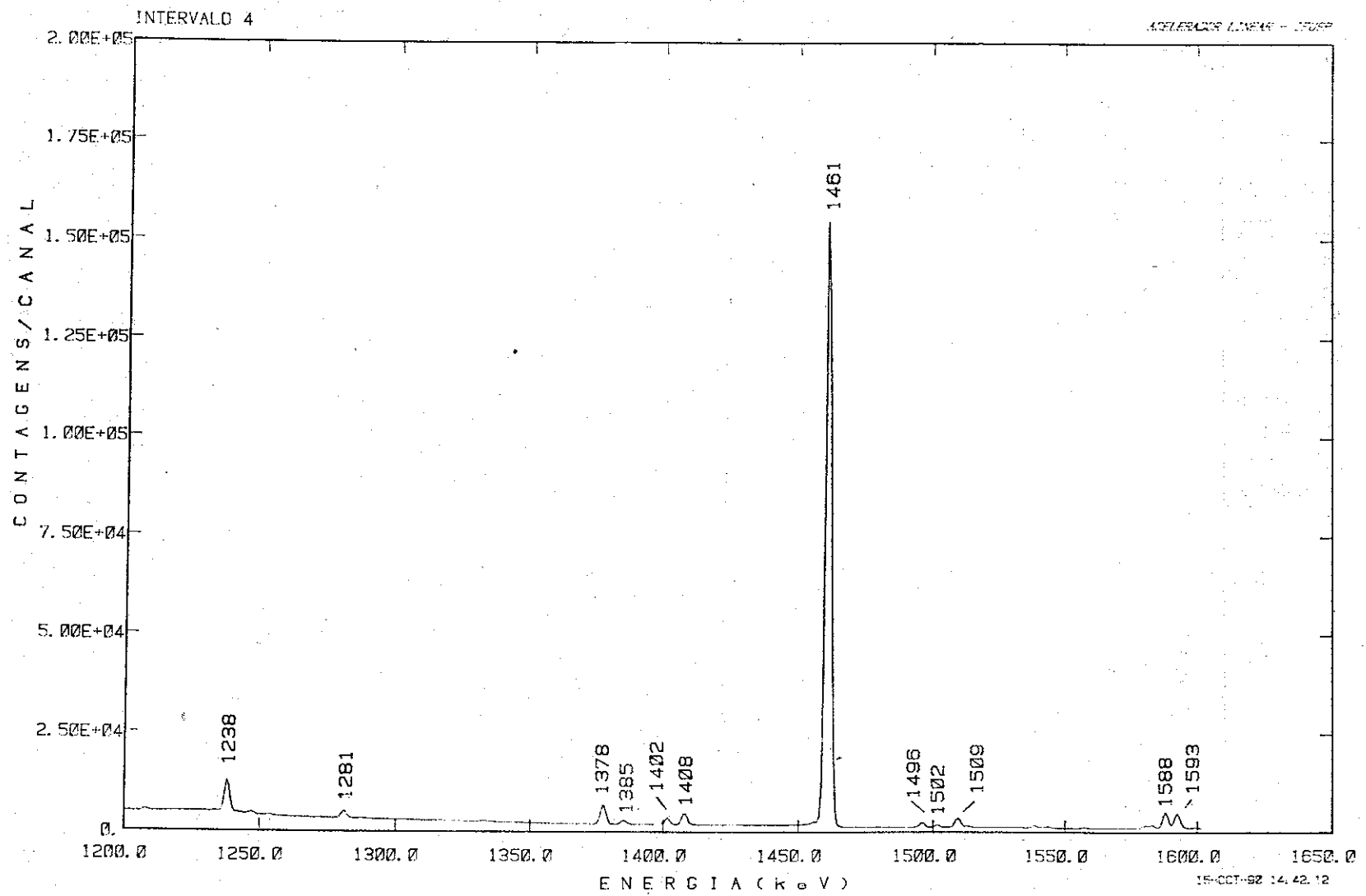


FIG. 7 : QUARTO INTERVALO DO ESPECTRO DO FUNDO RADIOATIVO

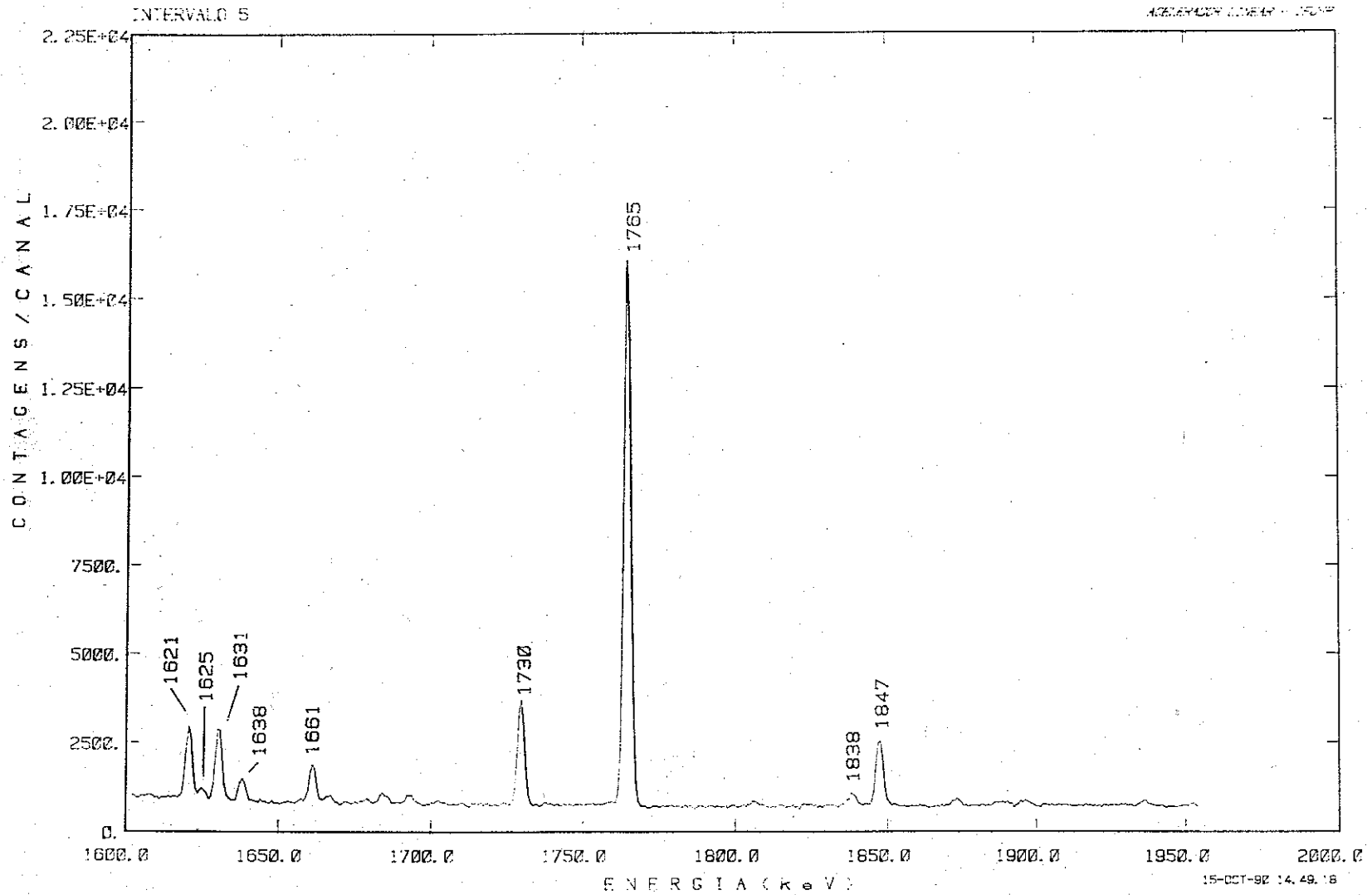


FIG. 8 : QUINTO INTERVALO DO ESPECTRO DO FUNDO RADIOATIVO

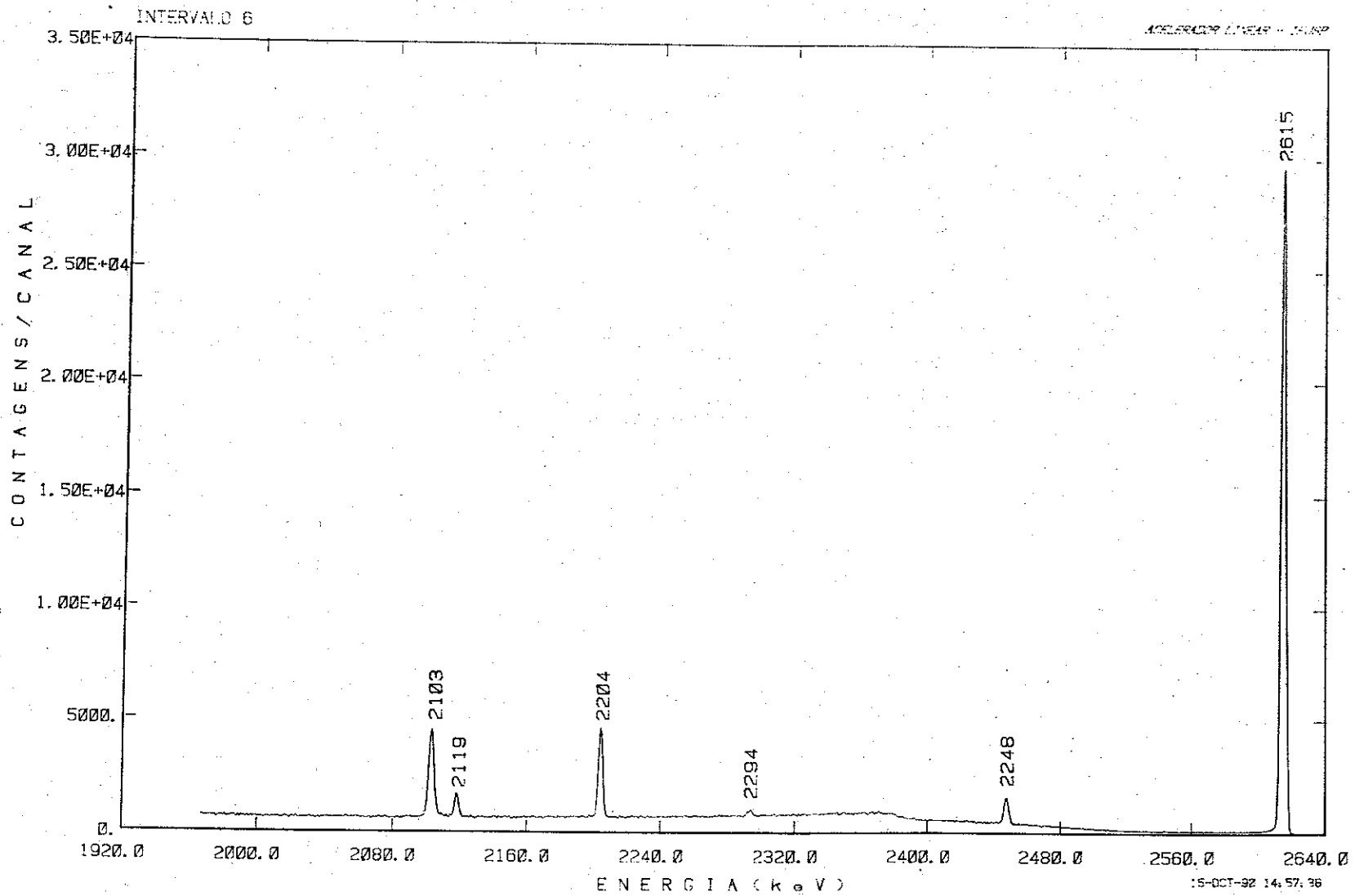


FIG. 9 : SEXTO INTERVALO DO ESPECTRO DO FUNDO RADIOATIVO.