



CNEN/SP

ipen Instituto de Pesquisas
Energéticas e Nucleares

AUTARQUIA ASSOCIADA A UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO

NÍVEIS DO ^{72}Ge POPULADOS PELO DECAIMENTO β^{D} DO ^{72}Ga

JOSÉ AGOSTINHO GONÇALVES DE MEDEIROS

**Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para obtenção do Grau
de Mestre em Ciências na Área de
Tecnologia Nuclear.**

**Orientador:
Dra. Cibele Bugno Zamboni**

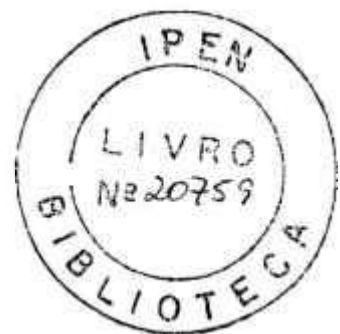
**São Paulo
1995**

NÍVEIS DO ^{72}Ge POPULADOS PELO DECAIMENTO β^- DO ^{72}Ga

JOSÉ AGOSTINHO GONÇALVES DE MEDEIROS

Dissertação apresentada como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de Mestre em Ciência
na Área de Tecnologia Nuclear.

Orientador: Dra. Cibele Bugno Zamboni



São Paulo
1995

aos meus pais e
aos meus tios Francisco e Prazeres

AGRADECIMENTOS

Desejo exprimir a minha gratidão a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram com informações, conselhos, estímulo e paciência. Em especial para:

Iica Marli Moitinho Amaral Medeiros, minha esposa, pela paciência e compreensão.

Dra. Cibele Bugno Zamboni, orientadora, pelas suas sugestões e críticas tanto durante o transcorrer deste trabalho como na redação do mesmo.

Dr. Paulo R. Pascholati, Laboratório do Acelerador Linear, pela oportunidade de realizar este trabalho.

Msc. André Luis Lapolli pelo incentivo, amizade e exemplo deste o início do trabalho e por mostrar-me os conceitos básicos de computação e ciência.

Msc. Eduardo Landulfo pelo incentivo, amizade e auxílio no desenvolvimento dos programas de análise de dados elaborados neste trabalho.

Msc. Sônia Pompeu pela amizade e incentivo.

Msc. Garabed Kenchian, Laboratório do Acelerador Linear, pela paciência em tirar as minhas inúmeras dúvidas e auxílio em todas as fases deste trabalho.

Prof^a Juraci dos Reis Rosa pela ajuda na revisão do texto.

Ineide, Irene e Marcos funcionários da secretária pela paciência e ajuda.

Comissão Nacional de Energia Nuclear e ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares por terem possibilitado a realização deste trabalho.

CNPq pelo suporte financeiro.

Aos amigos que trabalham no Laboratório do Acelerador Linear, pelo apoio prestado.

Aos amigos Edson, Eduardo, Eudice, Fred, Jacó, Kátia, Mario, Meire, Renato Semmler, Vânia, Willi pela amizade e apoio na luta pelo mesmo ideal.

E a todos que a minha memória não colaborou em incluir nesta pequena lista, mas que merecem um agradecimento especial.

NÍVEIS DO ^{72}Ge POPULADOS PELO DECAIMENTO β^- DO ^{72}Ga

JOSÉ AGOSTINHO GONÇALVES DE MEDEIROS

RESUMO

O espectro de raios- γ do ^{72}Ge foi estudado por meio das técnicas de espectroscopia simples e coincidências, acompanhando-se o decaimento β^- do ^{72}Ga (14h).

As medidas de espectroscopia foram realizadas com um detetor de HPGe (50 cm³) de alta resolução. Foram determinadas as energias e intensidades de 111 transições γ , 28 observadas pela primeira vez e 20 confirmadas.

As medidas de coincidências $\gamma\gamma$ foram realizadas usando o espectrômetro HPGe-Ge(Li), com o objetivo de estabelecer os níveis excitados do ^{72}Ge .

No esquema de decaimento proposto, 97 raios- γ foram posicionados em 31 níveis de energia, entre eles estão sendo incluídos 5 novos níveis a 2303 keV, 3067 keV, 3097 keV, 3247 keV e 3419 keV. Além disso é feita a tentativa de supor 2694 keV como nível.

LEVELS IN ^{72}Ge FROM THE β^- DECAY OF ^{72}Ga

JOSÉ AGOSTINHO GONÇALVES DE MEDEIROS

ABSTRACT

The gamma ray spectrum of ^{72}Ge following the β decay of ^{72}Ga (14h) has been studied using both single and coincidence spectroscopy technique.

The gamma ray spectroscopy has been carried out using a high resolution 50 cm³ HPGe detector. The energies and intensities of 111 γ -rays have been determined, 28 of them were observed for the first time and 20 have been confirmed.

Extensive $\gamma\gamma$ coincidence experiments were performed with a HPGe-Ge(Li) spectrometer. These coincidence relationships were used to identify the levels of ^{72}Ge . Of the total number of γ -rays observed, 97 have been placed in a proposed level scheme containing 31 levels. This includes 5 new levels at 2303 keV, 3067 keV, 3097 keV, 3247 keV and 3419 keV. The level at 2694 keV is tentative.

Índice

Introdução	1
I. Espectroscopia-γ no núcleo de ^{72}Ge acompanhando o decaimento β^- do ^{72}Ga	3
I.1. Introdução	3
I.2. Instrumentação	3
I.2.1. Espectrômetro γ	3
I.2.2. Sistema eletrônico e de aquisição de dados	5
I.3. Técnica experimental	6
I.3.1. Preparação da fonte radioativa de ^{72}Ga	6
I.3.2. Medida de espectroscopia simples	6
I.3.3. Calibração em energia	7
I.3.4. Eficiência	7
I.4. Análise de dados	9
I.4.1. Cálculo da energia das transições γ	9
I.4.2. Razão Simples escape/Duplo escape	9
I.4.3. Cálculo da intensidade	10
I.5. Resultados	10
I.5.1. Transições γ observadas pela primeira vez	31
I.5.2. Transições γ confirmadas	33
I.5.3. Transições γ não observadas	35
I.5.4. Outros resultados	36
II. Medida de Coincidência $\gamma\gamma$	37
II.1. Introdução	37
II.2. Instrumentação	37
II.2.1. Espectrômetro $\gamma\gamma$	37
II.2.2. Eletrônica de coincidência	39
II.3. Técnica experimental	42
II.3.1. Preparação da fonte de ^{72}Ga para medidas de coincidências $\gamma\gamma$	42
II.3.2. Aquisição de dados em modo biparamétrico	43
II.4. Análise dos dados de coincidências	45
II.5. Resultados	45
II.5.1. Relação de coincidências $\gamma\gamma$	45
II.5.2. Energias dos níveis do decaimento β^- do ^{72}Ga	48
II.5.3. Outros resultados	52

III. Análise dos Resultados	53
III.1. Introdução.....	53
III.2. Análise das transições γ pertencentes ao decaimento β^- do ^{72}Ga	58
III.3. Transições γ não posicionadas no esquema de níveis.....	95
III.4. Síntese das contribuições propostas pelo presente estudo.....	97
IV. Conclusão	102
Apêndice	104
Bibliografia	109

III. Análise dos Resultados	53
III.1. Introdução.....	53
III.2. Análise das transições γ pertencentes ao decaimento β^- do ^{72}Ga	58
III.3. Transições γ não posicionadas no esquema de níveis.....	95
III.4. Síntese das contribuições propostas pelo presente estudo.....	97
IV. Conclusão	102
Apêndice	104
Bibliografia	109

Lista de Figuras

Figura I.1:	Armadilha de espalhamento [5]	4
Figura I.2:	Diagrama de blocos do arranjo eletrônico de espectroscopia simples	5
Figura I.3.a:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 100-450).....	11
Figura I.3.b:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 450-700).....	11
Figura I.3.c:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 700-1000)....	12
Figura I.3.d:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 1000-1200)..	12
Figura I.3.e:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 1200-1350)..	13
Figura I.3.f:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 1350-1600)..	13
Figura I.3.g:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 1600-1800)..	14
Figura I.3.h:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 1750-1950)..	14
Figura I.3.i:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 1950-2350)..	15
Figura I.3.j:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 2300-2600)..	15
Figura I.3.k:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 2600-2900)..	16
Figura I.3.l:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 2900-3250)..	16
Figura I.3.m:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 3200-3500)..	17
Figura I.3.n:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 3500-4100)..	17
Figura I.3.o:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 4100-4400)..	18
Figura I.3.p:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 4500-5000)..	18
Figura I.3.q:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 5000-5500)..	19
Figura I.3.r:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 5500-6000)..	19
Figura I.3.s:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 6000-6600)..	20
Figura I.3.t:	Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 6800-7500)..	20
Figura I.4.a:	Espectro de fundo (canal 100-2000).....	21
Figura I.4.b:	Espectro de fundo (canal 2000-4000).....	21
Figura I.4.c:	Espectro de fundo (canal 4000-6000).....	22
Figura I.4.d:	Espectro de fundo (canal 6000-7500).....	22
Figura I.5:	Ajuste do dubleto em 923 keV	33
Figura I.6:	Ajuste do dubleto em 938 keV	34
Figura II.1:	Esquema do espectrômetro $\gamma\gamma$	38
Figura II.2:	Diagrama de blocos do arranjo eletrônico das medidas de coincidência	40
Figura II.3:	Espectro em tempo da eletrônica de coincidência	42
Figura II.4:	Matriz de coincidência (2048 +2048) canais x 4096 canais x contagens	44
Figura II.5.a:	Esquema de decaimento do ^{72}Ga proposto neste trabalho	50
Figura II.5.b:	Esquema de decaimento do ^{72}Ga proposto neste trabalho (continuação) ...	51
Figura III.1.a:	Esquema de decaimento do ^{72}Ga proposto pelo NDS [1].....	54
Figura III.1.b:	Esquema de decaimento do ^{72}Ga proposto pelo NDS [1] (continuação)....	55
Figura III.2:	Espectro de coincidência parcial da janela em energia a 834 keV	59

Figura III.3:	Espectro de coincidência parcial da janela em energia a 629 keV	62
Figura III.4:	Espectro de coincidência da janela em energia a 1464 keV	65
Figura III.5:	Espectro de coincidência da janela em energia a 894 keV	67
Figura III.6:	Espectro de coincidência da janela em energia a 839 keV	71
Figura III.7:	Espectro de coincidência da janela em energia a 861 keV	72
Figura III.8:	Espectro de coincidência da janela em energia a 374 keV	76
Figura III.9:	Espectro de coincidência da janela em energia a 2116 keV	77
Figura III.10:	Espectro de coincidência da janela em energia a 633 keV	79
Figura III.11:	Espectro de coincidência da janela em energia a 1032 keV	81
Figura III.12:	Espectro de coincidência da janela em energia a 1368 keV	82
Figura III.13:	Espectro de coincidência da janela em energia a 1519 keV	83
Figura III.14:	Espectro de coincidência da janela em energia a (923 + 924) keV	85
Figura III.15:	Espectro de coincidência da janela em energia a 1050 keV	87
Figura III.16:	Espectro de coincidência da janela em energia a 827 keV	88
Figura III.17:	Espectro de coincidência da janela em energia a 642 keV	92
Figura III.18:	Espectro de coincidência da janela em energia a 1192 keV	93
Figura III.19:	Espectro de coincidência da janela em energia a 2981 keV	94
Figura III.20:	Espectro de coincidência da janela em energia a 398 keV	100
Figura III.21:	Espectro de coincidência da janela em energia a 1361 keV	101

Lista de Tabelas

Tabela I.5.1: Área dos fotopicos devido ao simples escape.....	23
Tabela I.5.2: Área dos fotopicos devido ao duplo escape.....	24
Tabela I.5.3: Áreas das transições γ corrigidas devido ao escape.....	24
Tabela I.5.4: Energias (E), intensidade (I) e posicionamento ($E_i \rightarrow E_f$) das transições γ pertencentes ao decaimento do ^{72}Ga	25
Tabela I.5.5: Energia das transições γ observadas pela primeira vez.....	31
Tabela I.5.6: Energia das transições γ do ^{72}Ge confirmadas no presente trabalho.....	34
Tabela I.5.7: Intensidades relativas das transições γ não observadas, previstas pelo método estatístico da referência [10].....	35
Tabela II.1: Relações de coincidências $\gamma\gamma$	45
Tabela II.2: Valores das energias dos níveis do decaimento β^- do ^{72}Ga , obtido no presente estudo.....	48
Tabela III.1: Sumário das condições em que os trabalhos anteriores [3,4] de espectroscopia- γ foram realizados, juntamente com as condições deste trabalho.....	56
Tabela III.2: Sumário das condições em que os trabalhos anteriores [3,4] de coincidência $\gamma\gamma$ foram realizados, juntamente com as condições do presente trabalho.....	57
Tabela III.3: Dados referentes a spin (J), paridade (π) e energia de níveis e modo de desexcitação, obtidos no presente estudo, para o decaimento do ^{72}Ga , juntamente com os dados de J^π previstos pela compilação NDS [1], para comparação.....	97
Tabela III.4: Dados referentes as transições γ não posicionadas.....	98

Introdução

O estudo dos estados excitados do ^{72}Ge , a partir do decaimento β^- do ^{72}Ga , é de fundamental importância para a compreensão de sua estrutura nuclear.

Para o núcleo de ^{72}Ge , os níveis de energia foram estudados com grande interesse nos últimos anos por meio do decaimento beta-gama, inicialmente com detectores de NaI(Tl) e posteriormente com detectores de Ge(Li) ou uma combinação de NaI(Tl) e Ge(Li), conforme referências apresentadas no Nuclear Data Sheets [1].

Um dos primeiros estudos relevantes do ^{72}Ge , referente ao decaimento β^- do ^{72}Ga , foi realizado por Kraushar e outros [2], usando detectores de NaI(Tl), fornecendo um esquema de decaimento simplificado, com 25 transições γ distribuídas em níveis de energia de até 3300 keV. Já no trabalho de Camp [3], realizado com detectores de NaI(Tl) e Ge(Li), portanto com melhor resolução em energia, 85 transições γ foram incorporadas ao esquema de decaimento, agora distribuídos em 27 níveis de energia. Pouco tempo depois, Rester e outros [4] realizaram extensivas medidas de coincidências $\gamma\gamma$, só com detectores de Ge(Li) e 68 transições γ das 71 observadas foram incluídas neste decaimento em 22 níveis de energia. Basicamente, esses dois estudos compõem o atual esquema de decaimento do ^{72}Ga .

Uma análise detalhada destes trabalhos aponta discrepâncias nos esquemas de níveis propostos. Existem 20 transições γ que, devido à baixa intensidade ($< 10^{-2}\%$, relativa à transição γ de 834 keV considerada 100%) ainda estão por ser confirmadas e outras que embora observadas nos dois estudos, não foram posicionadas no esquema de níveis. Estas discrepâncias mostram que a existência de 7 níveis, a saber: 2583 keV, 2940 keV, 2950 keV, 3338 keV, 3565 keV, 3619 keV e 3707 keV, é questionável.

Com base nisto, o objetivo do presente trabalho foi de obter informações adicionais que levassem a um esquema de níveis bem estabelecido para o núcleo de ^{72}Ga . Desta forma, o espectro de transições γ do ^{72}Ge foi investigado no decaimento β^- do ^{72}Ga por meio de técnicas de espectroscopia-gama, usando detetor HPGe (50cm^3), e de coincidências $\gamma\gamma$, usando uma combinação de detectores de HPGe (89cm^3) com Ge(Li) (60cm^3).

Estas medidas foram realizadas no Laboratório do Acelerador Linear (IFUSP), que proporciona medidas com baixos limites de observação de intensidades de transição γ , que podem chegar a um decaimento em 10^6 decaimentos do núcleo. Estas condições experimentais bem como o uso de detectores de melhor resolução favoreceram a realização destas medidas, levando a um esquema de níveis bem estabelecido para o núcleo de ^{72}Ge .

A abordagem destas medidas é feita em quatro capítulos. No capítulo I é descrita a medida de espectroscopia γ onde são apresentadas as condições experimentais, o método de análise, a aquisição de dados e os resultados. Da mesma forma, o capítulo II refere-se à medida de coincidência $\gamma\gamma$. No capítulo III, é apresentada a análise dos dados de ambas as medidas, onde a discussão é feita nível a nível. No capítulo IV, são reunidas as conclusões dos resultados

experimentais obtidos , avaliando-se as contribuições do presente estudo. Nos apêndices, são descritos os programas empregados para aprimoramento da análise de dados.

As referências bibliográficas são numeradas independentemente dos capítulos, sendo dadas de acordo com a citação no texto. Já as tabelas e figuras são numeradas para cada capítulo em romano, precedendo o número de ordem.

Capítulo I

I. Espectroscopia- γ no núcleo de ^{72}Ge acompanhando o decaimento β^- do ^{72}Ga

I.1. Introdução

Neste capítulo é descrita a medida de espectroscopia- γ , que se constitui na tomada de espectros diretos dos estados excitados do ^{72}Ge , visando o reconhecimento das transições γ e o cálculo da intensidade relativa destas transições γ , associadas ao decaimento β^- do ^{72}Ga ($T_{1/2}=14,10\text{h}$)[1].

I.2. Instrumentação

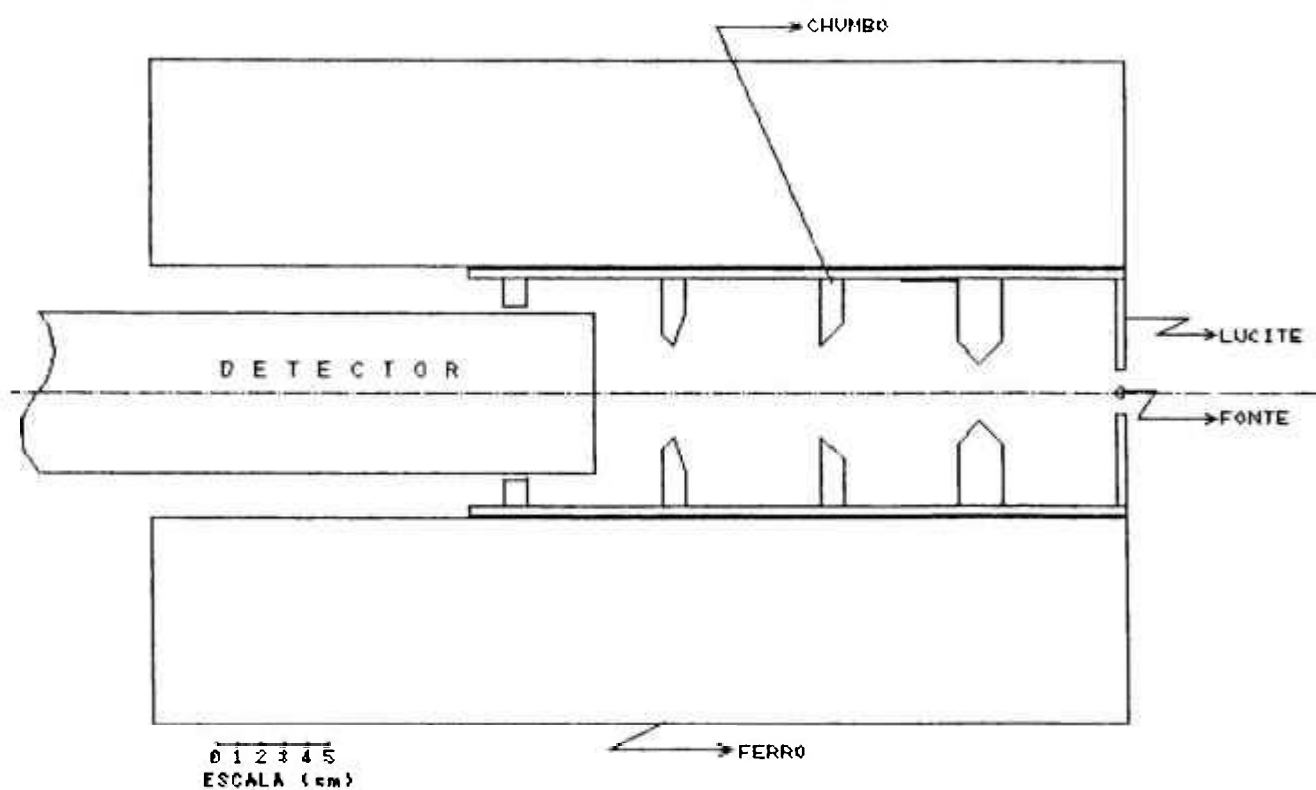
A instrumentação nuclear utilizada na tomada dos espectros diretos constitui-se de um espectrômetro- γ , um sistema eletrônico associado e um sistema de aquisição de dados que serão descritos a seguir.

I.2.1. Espectrômetro- γ

O espectrômetro- γ é constituído de um detetor coaxial de HPGe de 50 cm^3 de volume, com resolução de $1,8\text{ keV}$ para a transição γ de 1332 keV do ^{60}Ni , pertencente ao decaimento do ^{60}Co , acoplado a uma blindagem anular de ferro, cujas dimensões são de 11cm de diâmetro interno, 31cm de diâmetro externo e 45cm de comprimento, como mostra a figura I.1. A blindagem possui, em seu interior, quatro meniscos de chumbo, cujos orifícios, os ângulos de corte e a distância entre os mesmos foram calculadas de forma a minimizar a incidência de fótons espalhados no volume sensível do detetor. Detalhes deste arranjo, que é denominado de armadilha de espalhamento, são apresentados na referência[5].

A fonte é posicionada a uma distância de 25cm do detetor. Entre a fonte e o detetor não há nenhum tipo de absorvedor, o que minimiza os efeitos de absorção e espalhamento.

Figura 1.1: Armadilha de espalhamento [5]



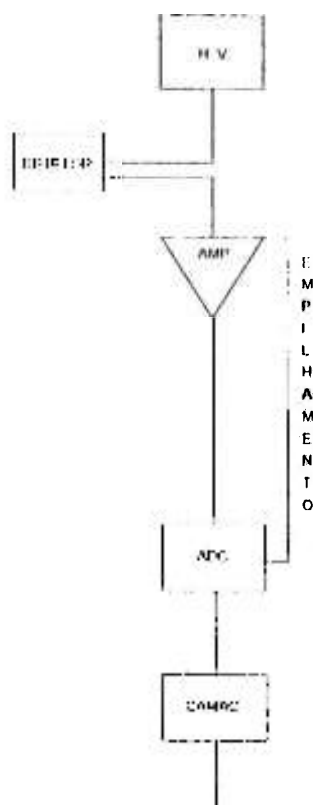
I.2.2. Sistema eletrônico e de aquisição de dados

Para obtenção dos espectros diretos, a eletrônica associada ao espectrômetro- γ , descrito em I.2.1, é a convencional em energia. Um diagrama de blocos deste sistema é apresentado na figura I.2.

O pulso eletrônico produzido no detetor é pré-amplificado e transmitido ao amplificador ORTEC-572. Este amplificador gera, em sua saída unipolar, um pulso analógico de altura proporcional à energia, e um pulso lógico em uma saída própria "INNIBIT" (sinal de empilhamento) que detecta a ocorrência de sobreposição de sinais em virtude das altas taxas de contagens utilizadas. Os pulsos amplificados são convertidos em 8192 canais por um conversor analógico digital (ADC - Conversor Analógico Digital - ORTEC MODEL 800), em anticoincidência com os sinais de empilhamento.

A aquisição de dados é realizada através de uma interface CAMAC, usando um microprocessador programável MDB-11 para armazenar os dados em modo multicanal na memória do computador PDP 11/84, do Laboratório do Acelerador Linear do IFUSP.

Figura I.2: Diagrama de blocos do arranjo eletrônico de espectroscopia simples



1.3. Técnica experimental

Neste item, é feita a descrição da técnica utilizada no preparo da fonte radioativa de ^{72}Ga , bem como a descrição das calibrações em energia e eficiência do espectrômetro- γ .

1.3.1. Preparação da fonte radioativa de ^{72}Ga

As fontes radioativas de ^{72}Ga foram obtidas pela reação $^{71}\text{Ga}(n,\gamma)^{72}\text{Ga}$. Assim, o decaimento β^- do ^{72}Ga ($T_{1/2}=14,10\text{h}$) popula os vários níveis de energia do ^{72}Ge , possibilitando o estudo do espectro- γ deste núcleo. Para obtenção de cada amostra, 10mg de Ga_2O_3 natural, selados num tubo cilíndrico de sílica, com 99,9% de pureza foram irradiados por 5 minutos num fluxo de 10^{13} n/cm²s no reator IEA-R1. Dada a composição isotópica do Gálio natural (39,9% de ^{71}Ga e 60,1% de ^{69}Ga), aguardava-se por um período de 2 horas para o início das medidas, pois o nuclídeo de ^{70}Ga ($T_{1/2}=21\text{minutos}$) também era produzido na irradiação. No total, foram realizadas 10 irradiações para a realização desta medida.

A atividade final, estimada para cada fonte, foi da ordem de $10\mu\text{Ci}$ e permitia a aquisição de dados por duas meias-vida.

1.3.2. Medida de espectroscopia simples

Após a irradiação, a fonte foi posicionada no espectrômetro- γ , descrito em 1.2.1, onde foram realizadas as medidas de espectroscopia. Para cada fonte foram obtidos 24 espectros diretos de uma hora cada totalizando, no final da medida, 207 horas de contagem.

O espectro de fundo, juntamente com a sílica irradiada, foi tomado nas mesmas condições, num total de 89 horas. Posteriormente, este espectro, após a correção devido ao tempo de contagem, foi subtraído do espectro obtido com a fonte, de modo a eliminar possíveis contaminantes na análise do espectro.

O espectro das transições γ do ^{72}Ge , correspondente à aquisição de 207 horas, já subtraído o espectro de fundo, foi intitulado como espectro-soma.

1.3.3. Calibração em energia

Um dos problemas a se enfrentar é a avaliação precisa das energias e sua apresentação na forma correta, isto é, com os erros experimentais adequadamente expressos. Para uma melhor avaliação das energias e seus respectivos erros, foi utilizado o método de Auto-Calibração.

Um procedimento usual nesta técnica é, num primeiro momento, obter um espectro em energia, utilizando-se uma ou mais fontes padrão [6] juntamente com a fonte em estudo. Neste trabalho utilizamos fontes padrão de ^{56}Co e ^{152}Eu , juntamente com a fonte de ^{72}Ga (fonte em estudo). Com este espectro, utilizando-se os valores de energia das transições γ das fontes padrão [6] e as suas respectivas posições, fornecidas pelo programa IDF [7], obtemos uma curva de calibração utilizando-se o programa AJUSTE [8]. Posteriormente, com esta curva de calibração atribuem-se as energias correspondentes as transições γ de maior intensidade, pertencentes ao núcleo em estudo, utilizando-se o programa INTERCOV (descrito no apêndice).

Num segundo momento, procedemos a uma nova calibração utilizando-se o espectro-soma (definido em I.3.2.) de modo a associar as energias das transições γ calculadas no procedimento anterior às posições destas transições γ no espectro-soma, com o auxílio do programa AUTOC (descrito no apêndice). Este programa fornece a curva de auto-calibração do espectro-soma levando em consideração as covariâncias entre as energias, posição do fotopico e parâmetros ajustados.

1.3.4. Eficiência

A curva de eficiência relativa do detetor de HPGe (50cm^3), na geometria de detecção utilizada, foi obtida a partir de fontes padrão de ^{152}Eu e ^{56}Co , com valores das intensidades de suas transições γ bem determinados, obtidos na compilação da Internacional Atomic Energy Agency - IAEA [6]. Para o cálculo da eficiência relativa, foram consideradas as seguintes relações:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_p} \quad (1)$$

onde:

ϵ_r = Eficiência relativa

ϵ = Eficiência

ϵ_p = Eficiência tomada como padrão

$$A = I \cdot \epsilon \cdot c \quad (2)$$

onde:

A = Área do fotopico

I = Intensidade da transição γ

c = Constante que depende da atividade da amostra

$$\therefore \epsilon = \frac{A}{I \cdot c} \quad (3)$$

Temos, então, que a eficiência para a transição γ tomada como padrão será dada por:

$$\epsilon_p = \frac{A_p}{I_p \cdot c} \quad (4)$$

onde:

A_p = Área do fotopico tomado como padrão

I_p = Intensidade da transição γ tomada como padrão

Substituindo (3) e (4) em (1), temos:

$$\epsilon_r = \frac{A}{I} \cdot \frac{I_p}{A_p} \quad (5)$$

Deste modo, podemos, através do programa IDF [7], determinar a área dos fotopicos provenientes das fontes padrão e, a partir destes dados, ajustar a curva da eficiência em função da energia da transição γ :

$$\epsilon_r(E) = \sum_{i=1}^n a_i e^{-b_i E} \quad (6)$$

onde a_i e b_i são os parâmetros ajustados, sendo que o número de parâmetros ajustados depende da faixa de energia estudada.

No presente trabalho, a curva de eficiência relativa resultou da soma de três exponenciais, abrangendo a região de energia entre 200 keV e 3500 keV.

I.4. Análise de dados

I.4.1. Cálculo da energia das transições γ

Como já foi descrito no item I.3.3., foi obtida uma curva de calibração em energia com a finalidade de associar a posição dos fotopicos do espectro-soma ao longo dos 8192 canais, com suas respectivas energias.

Com esta curva e com as posições dos fotopicos, obtidas com auxílio do programa IDF [7], foram calculadas as energias de todas as transições γ pertencentes ao espectro-soma, bem como suas covariâncias. Usou-se, para este fim, o programa INTERCOV, descrito no apêndice.

I.4.2. Razão Simples escape/Duplo escape

A correta identificação dos fotopicos devido ao simples escape, duplo escape e também a possibilidade de que esse fotopico coincida com uma transição pertencente ao núcleo em estudo, de modo a alterar a intensidade atribuída a essa transição γ , é uma etapa importante no trabalho. Com este objetivo, a partir de fontes padrão de ^{56}Co e ^{152}Eu , foi determinada a razão entre a área do fotopico, devido ao escape e à área da transição γ , que gera o escape. Esta razão depende somente do volume do detetor e da energia da transição γ [9]. Os dados obtidos podem ser ajustados em uma curva em função da energia da forma:

$$\text{Razão}_{(A_{\text{escape}}/A_{\text{transição}})} = \sum_{i=1}^n a_i (\text{energia})^{(i-1)} \quad (7)$$

A partir desta curva, interpolam-se os valores de energia das transições γ obtidas na medida de espectroscopia e determina-se a área dos fotopicos, gerados através de simples ou duplo escape.

Comparando-se os resultados obtidos, podemos identificar os fotopicos que não pertencem ao núcleo em estudo e também identificar as transições γ que coincidem com um fotopico gerado por escape e corrigir a intensidade de tais transições γ , subtraindo-se as contagens devido ao escape.

1.4.3. Cálculo da intensidade

As intensidades relativas das transições γ foram obtidas através da equação

$$I_{rel} = \frac{A}{\mathcal{E}_{rel}} \cdot \frac{\mathcal{E}_{rel}(834keV)}{A(834keV)} \cdot 100 \quad (8)$$

onde:

I_{rel} = Intensidade relativa do fotopico

A = Área do fotopico, obtida com auxílio do programa IDF [7]

\mathcal{E}_{rel} = Eficiência relativa, obtida a partir da curva de eficiência do detetor.

Os valores das intensidades relativas das transições γ e seus erros foram calculados com auxílio do programa INTEN [40], descrito no apêndice, onde tomou-se como base a transição γ de 834 keV, que é a mais intensa do espectro, como 100 %.

1.5. Resultados

Para ilustração do espectro direto das transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga , observadas no detetor de HPGe, por 207 horas, já descontado o espectro de fundo é apresentado na figura I.3, onde SE representa simples escape e DE duplo escape, e o espectro de fundo observado por 89 horas é apresentado na figura I.4. Os valores de energia apresentados nas figuras I.3 e I.4 correspondem a valores aproximados

Figura I.3.a: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 100-450)

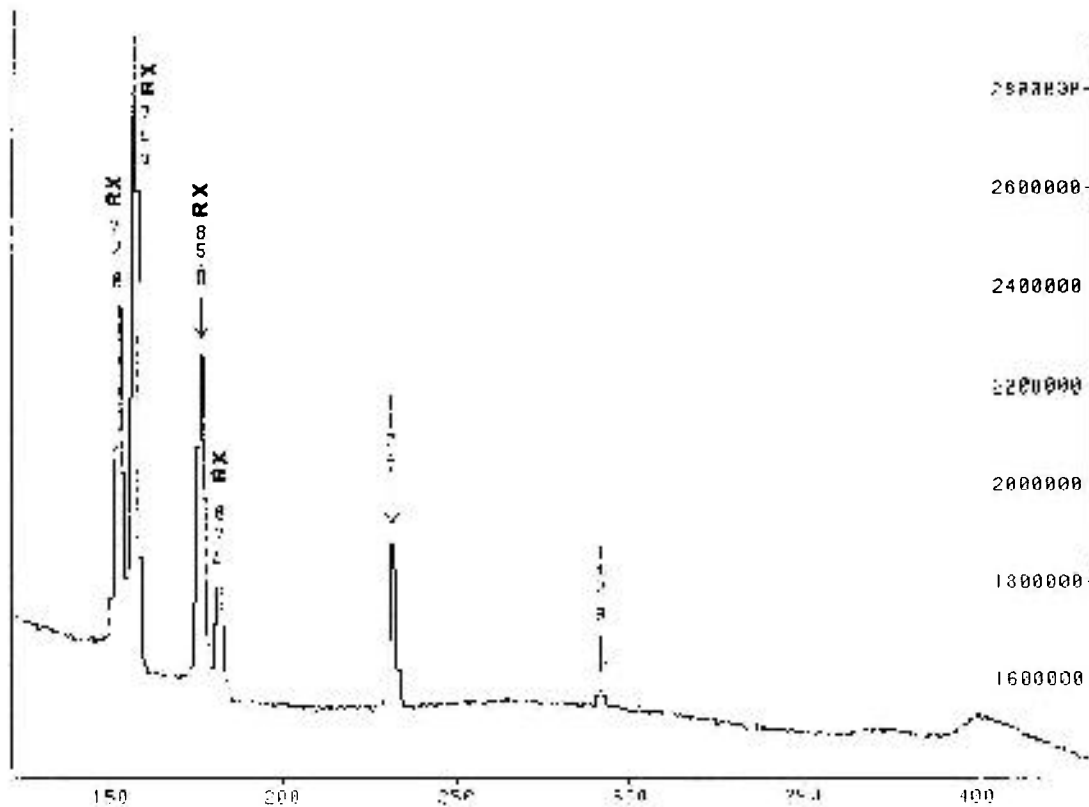


Figura I.3.b: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 450-700)

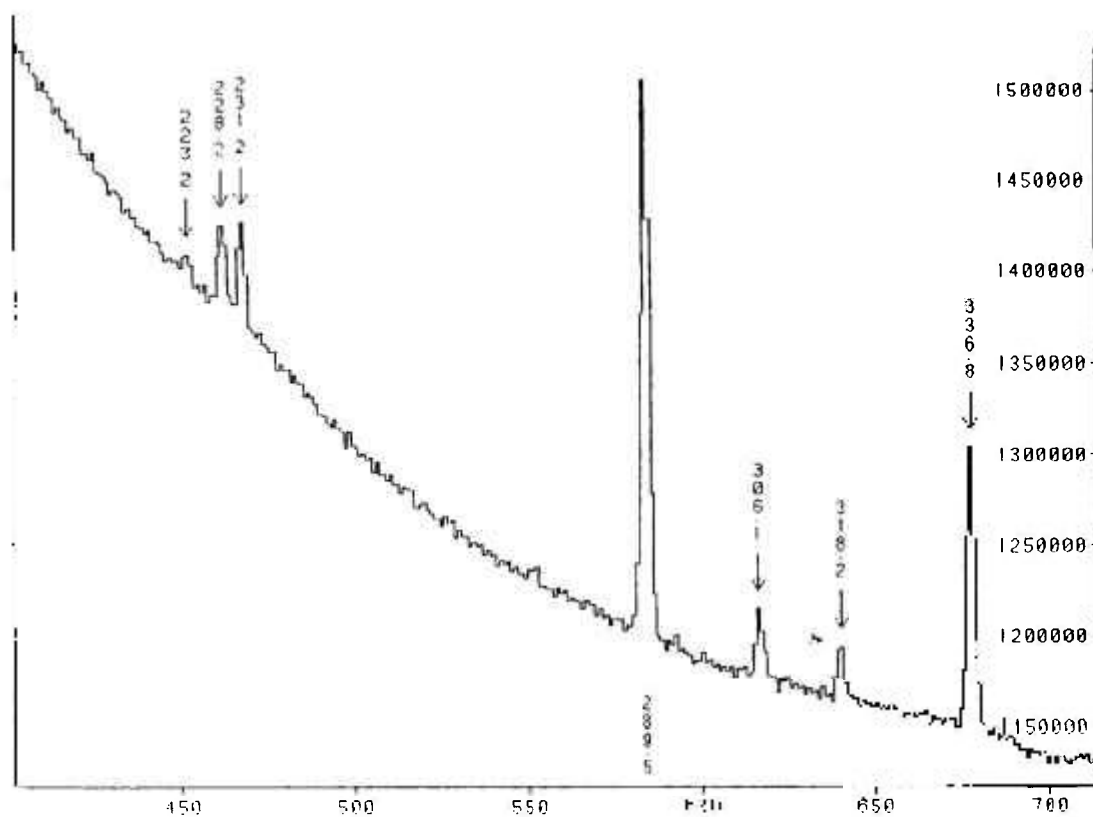


Figura I.3.e: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 1200-1350)

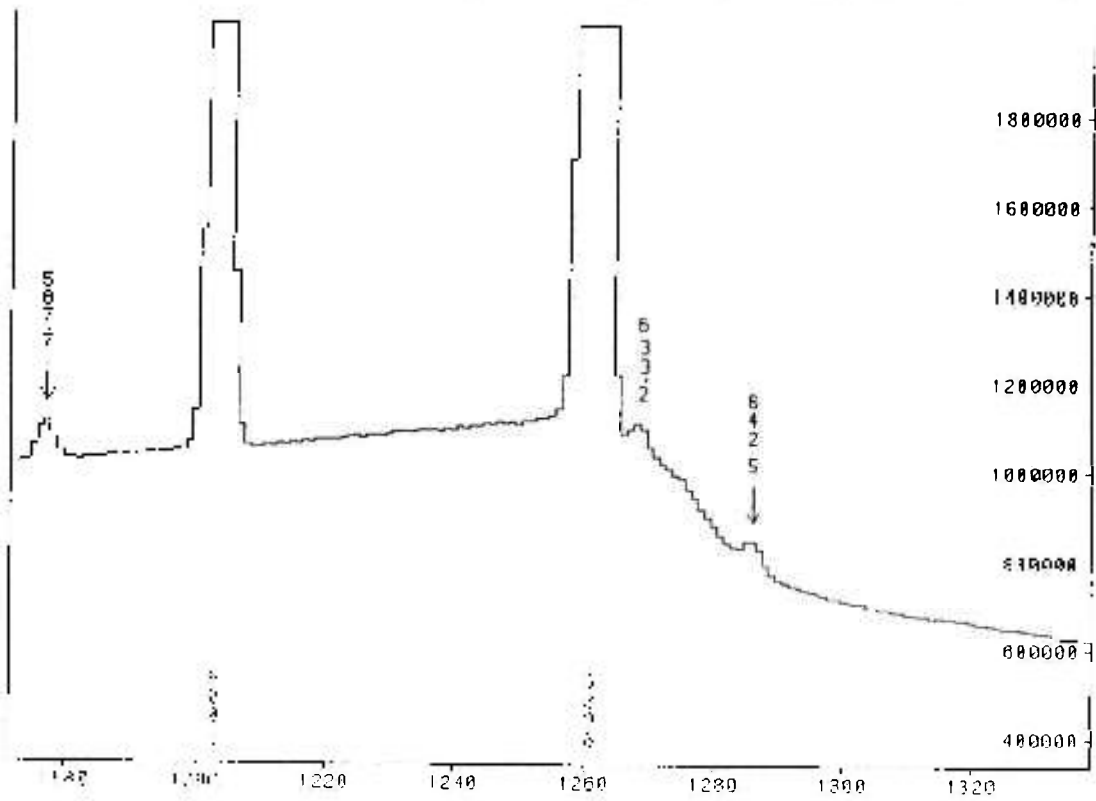


Figura I.3.f: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 1350-1600)

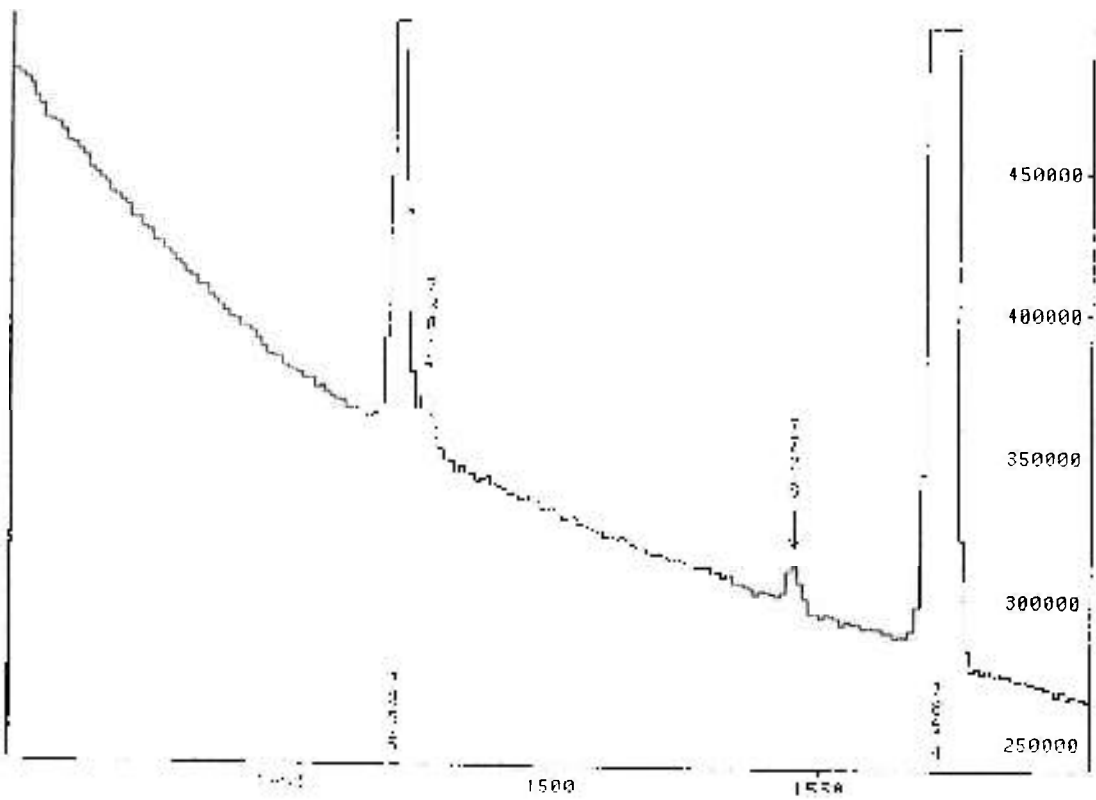


Figura I.3.g: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 1600-1800)

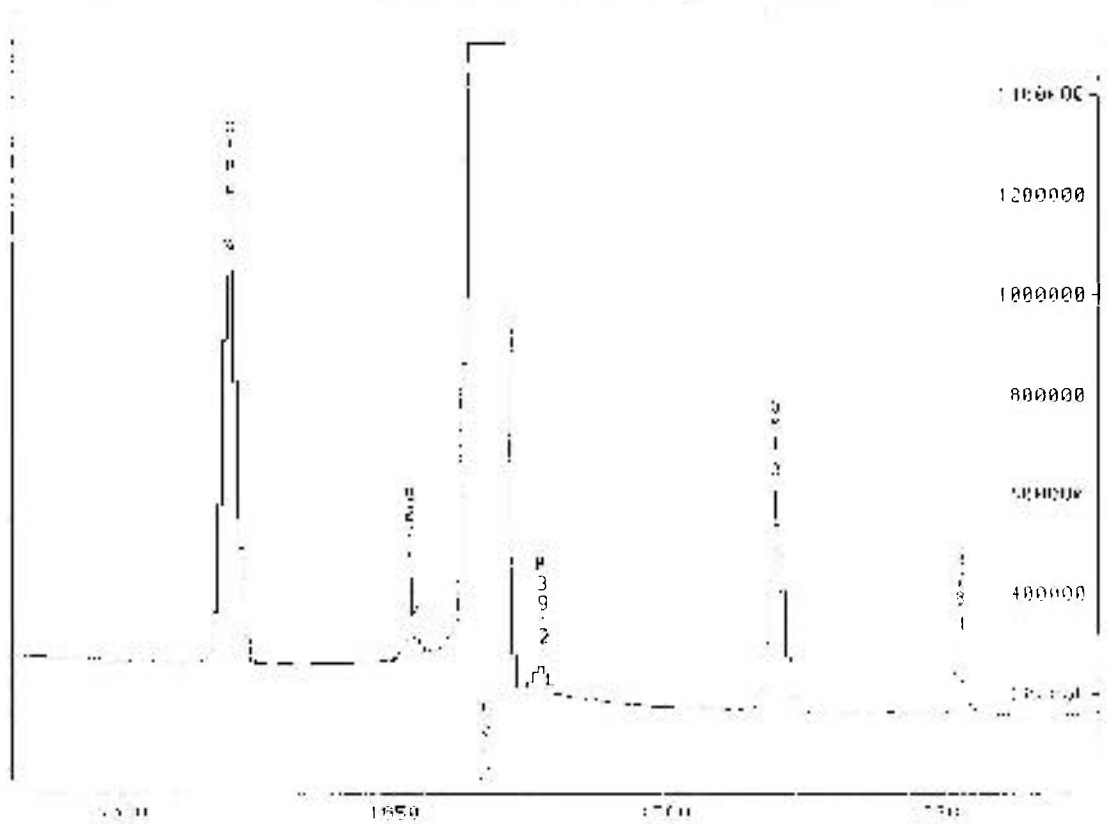


Figura I.3.h: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 1750-1950)

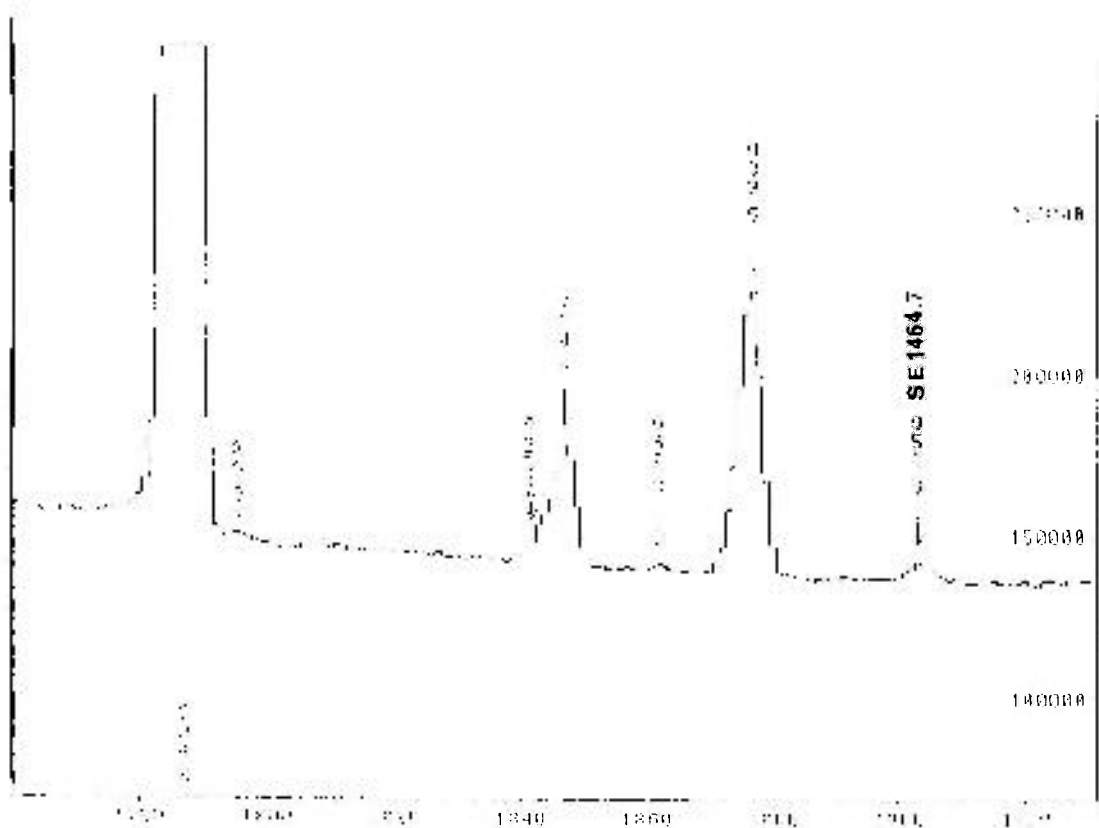


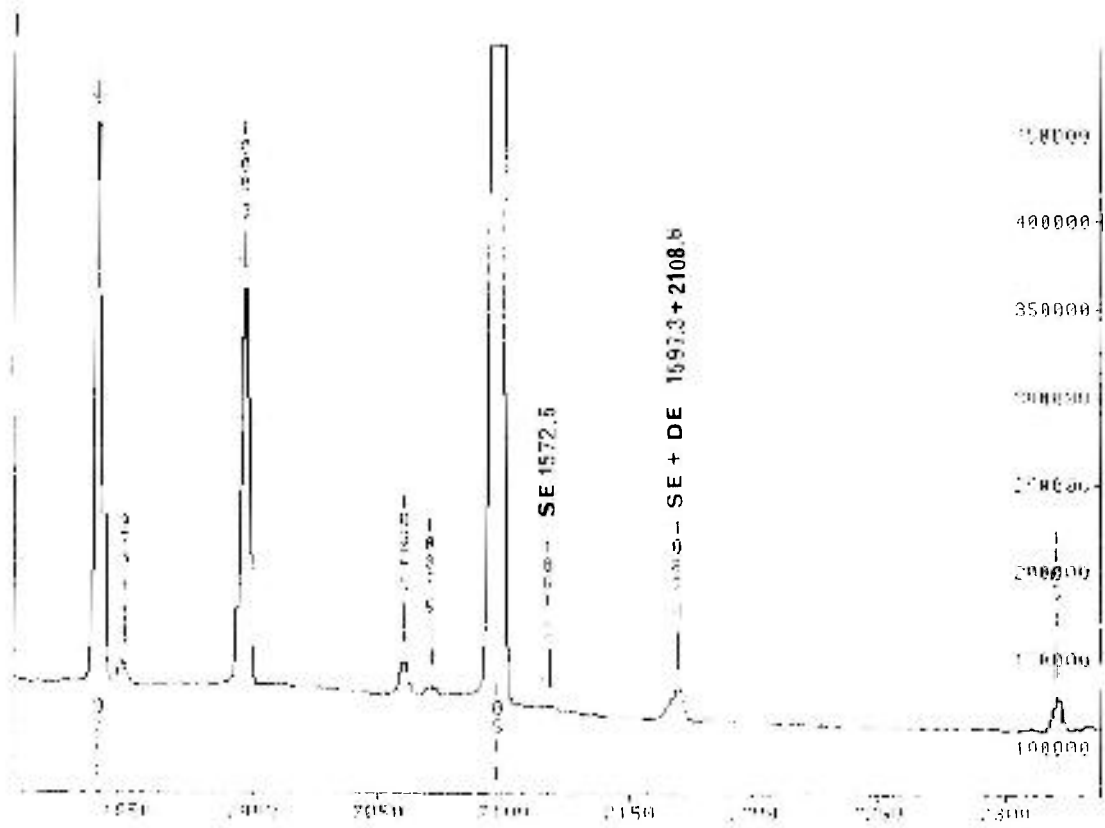
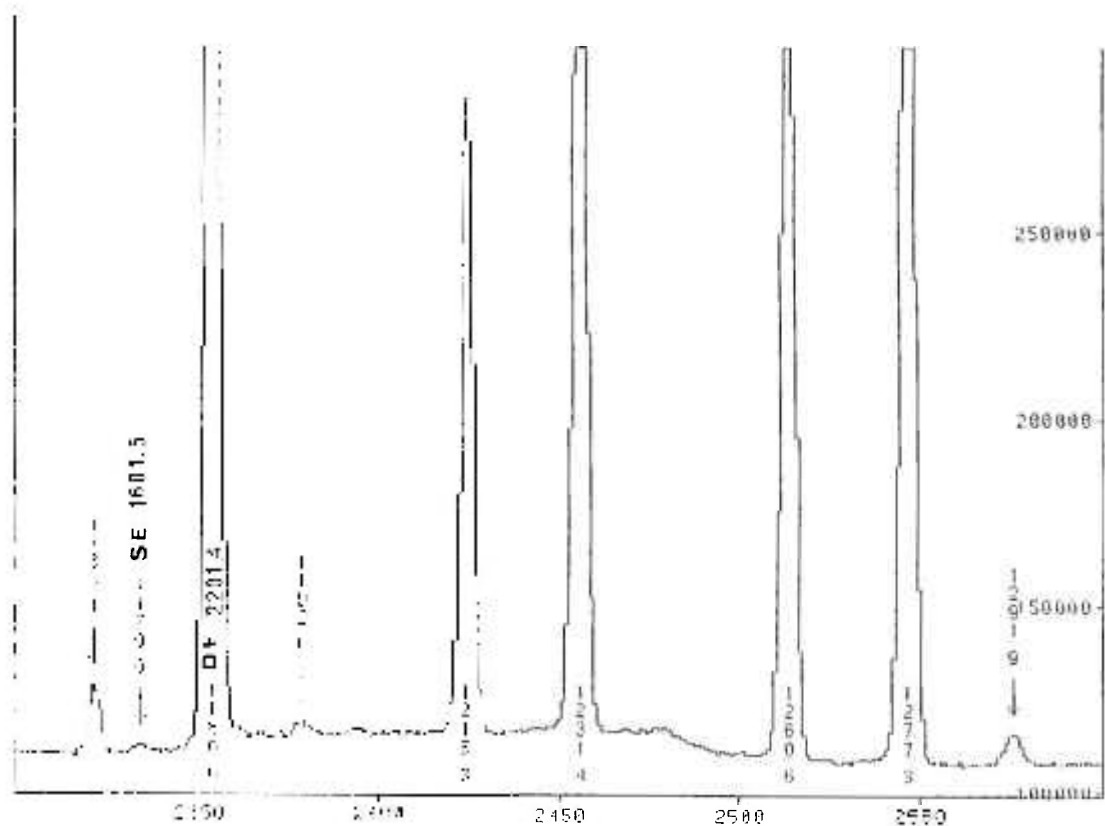
Figura 1.3.i: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 1950-2350)Figura 1.3.j: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 2300-2600)

Figura I.3.k: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 2600-2900)

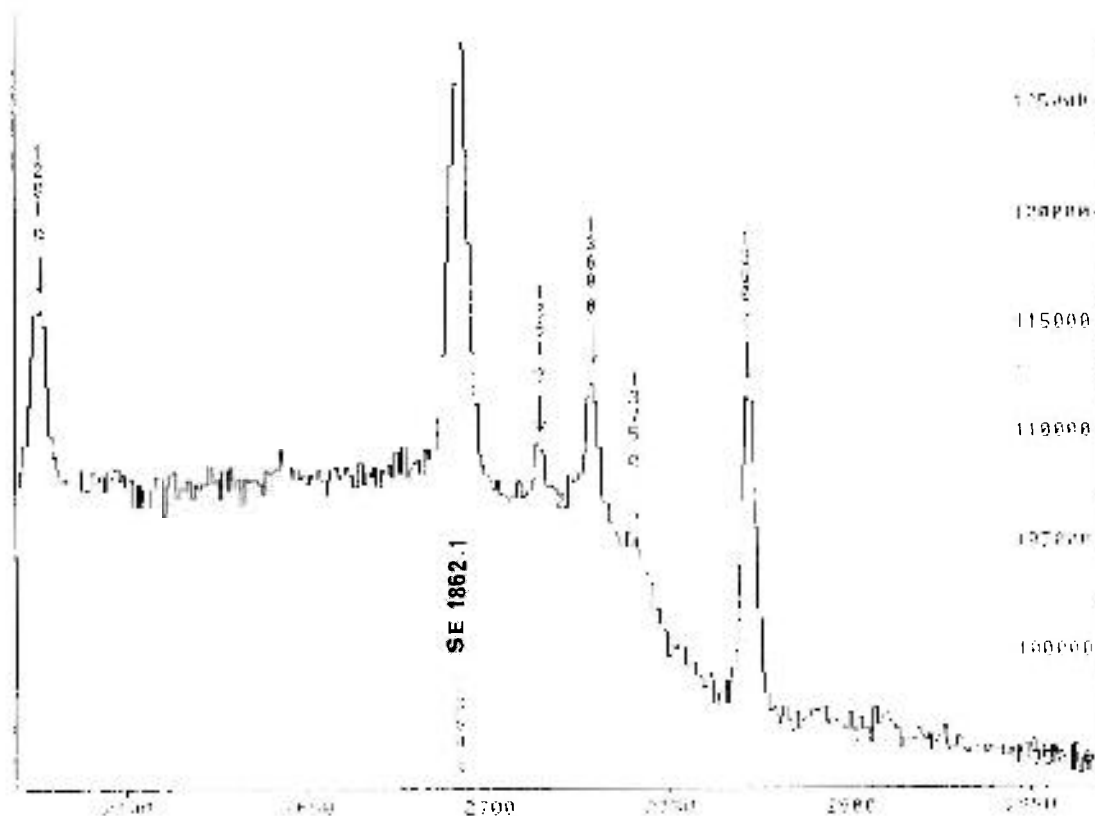


Figura I.3.l: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 2900-3250)

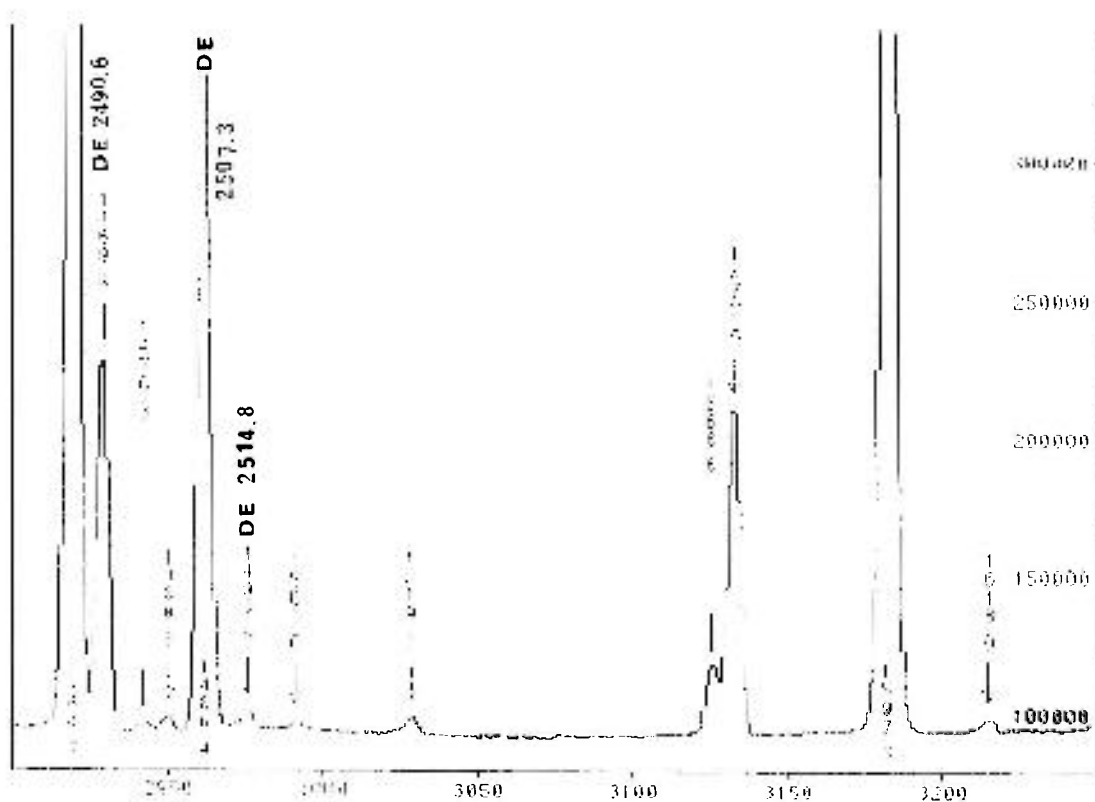


Figura I.3.m: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 3200-3500)

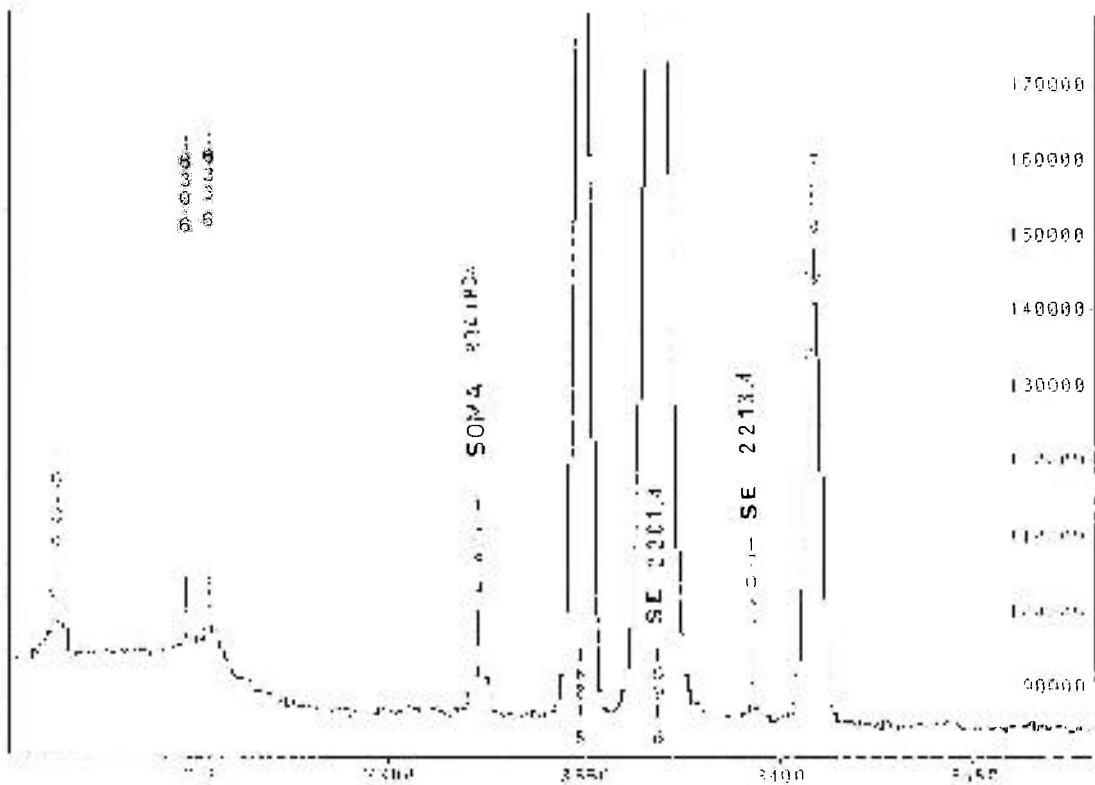


Figura I.3.n: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 3500-4100)

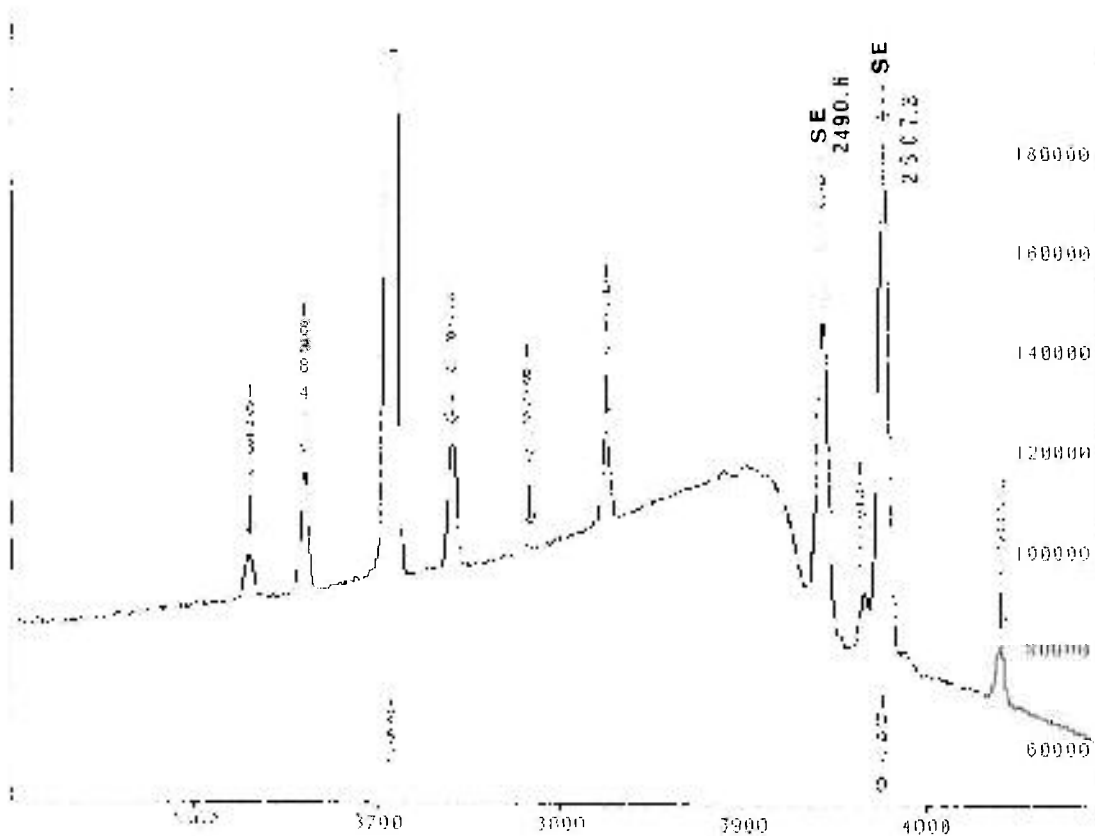


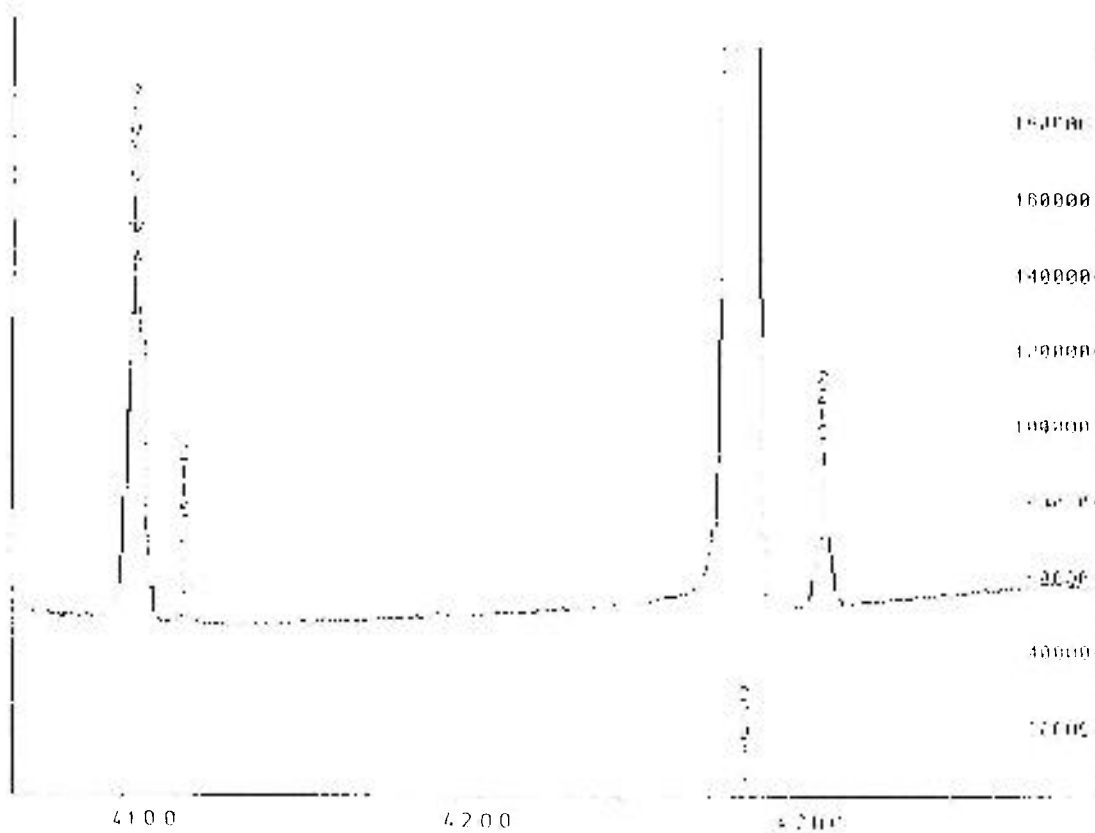
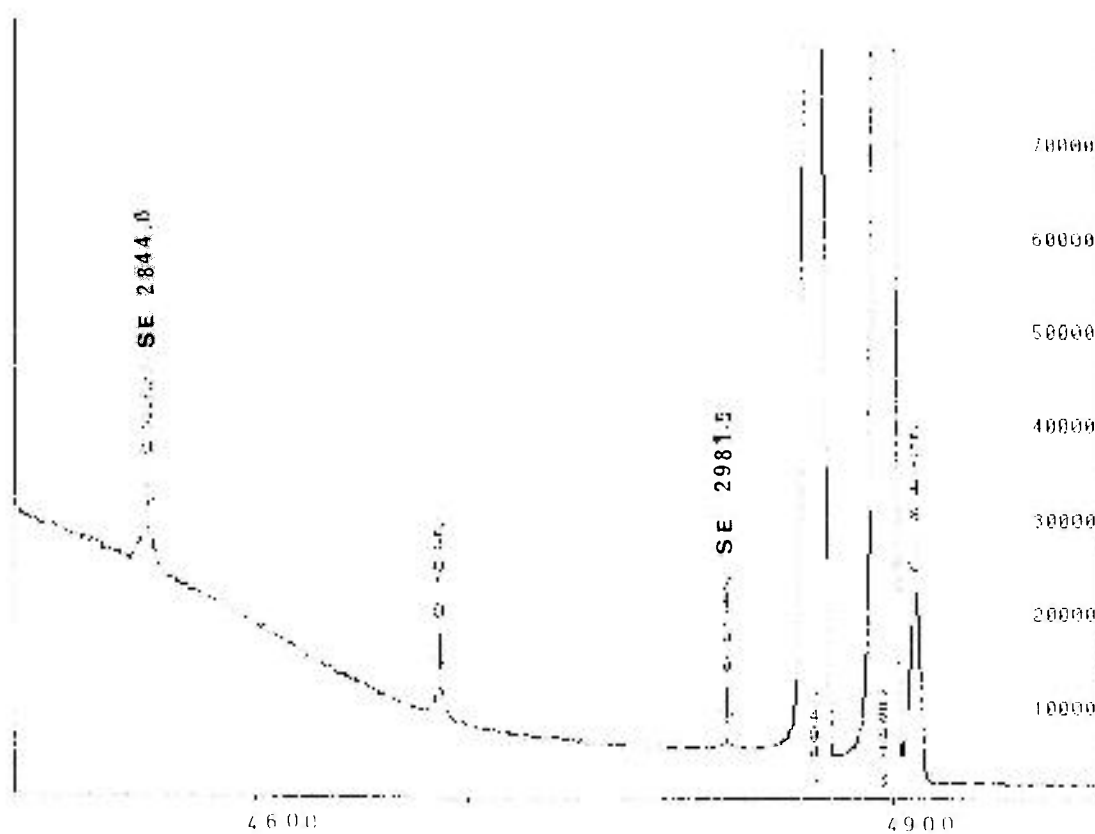
Figura I.3. o: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 4100-4400)Figura I.3. p: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 4500-5000)

Figura 1.3.q: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 5000-5500)

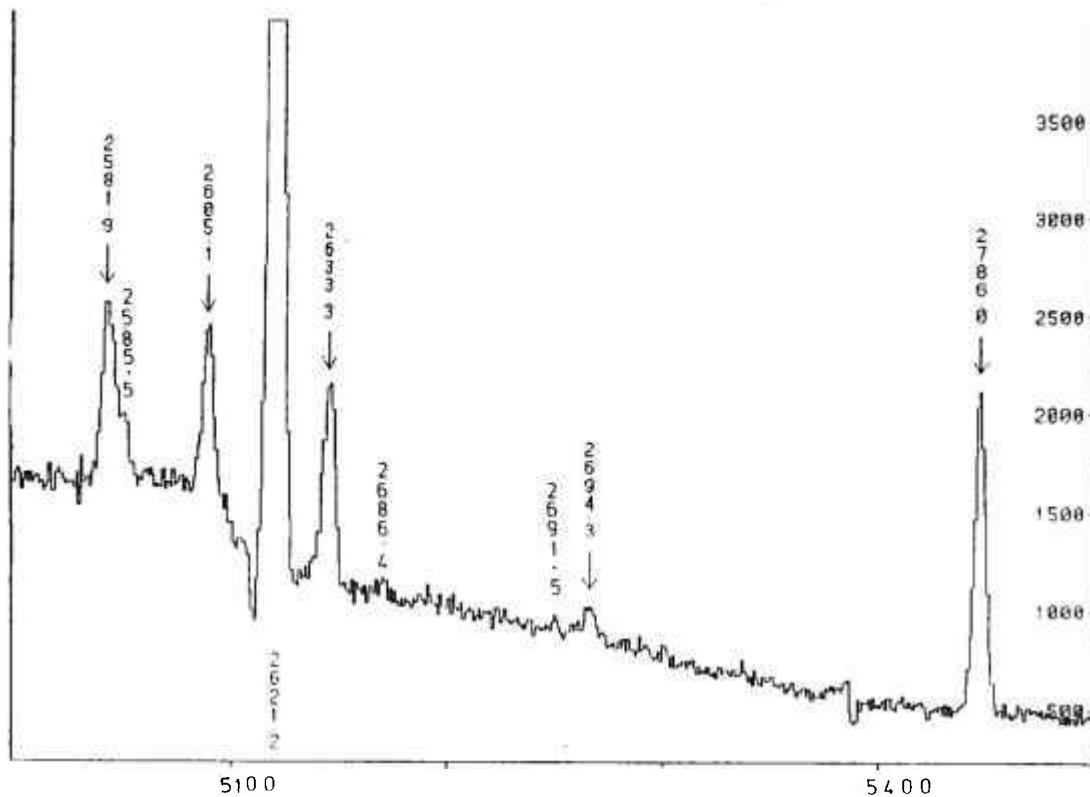


Figura 1.3.r: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 5500-6000)

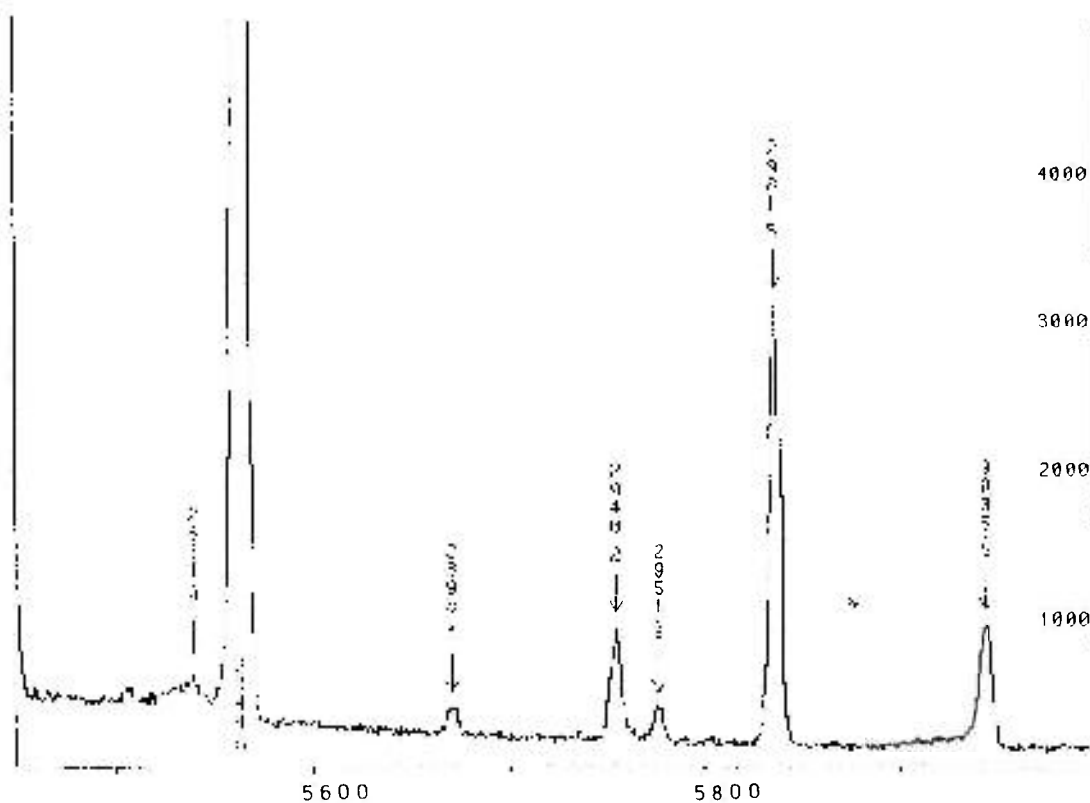


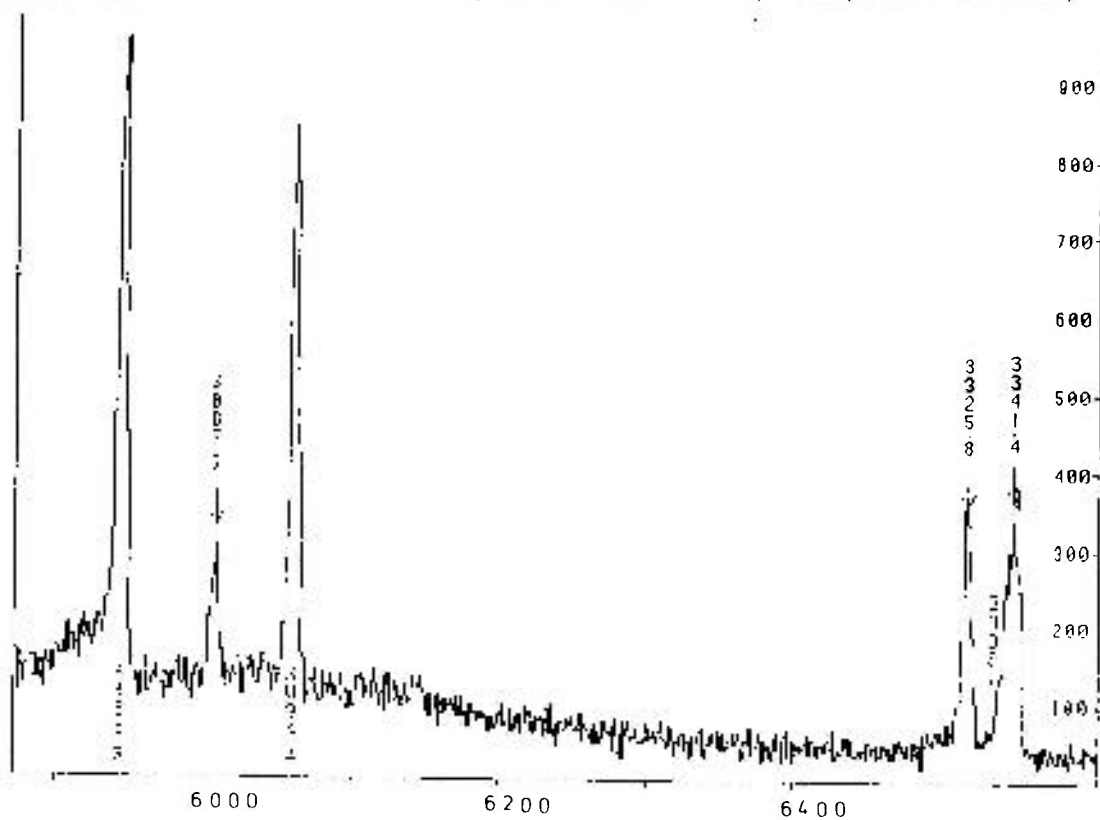
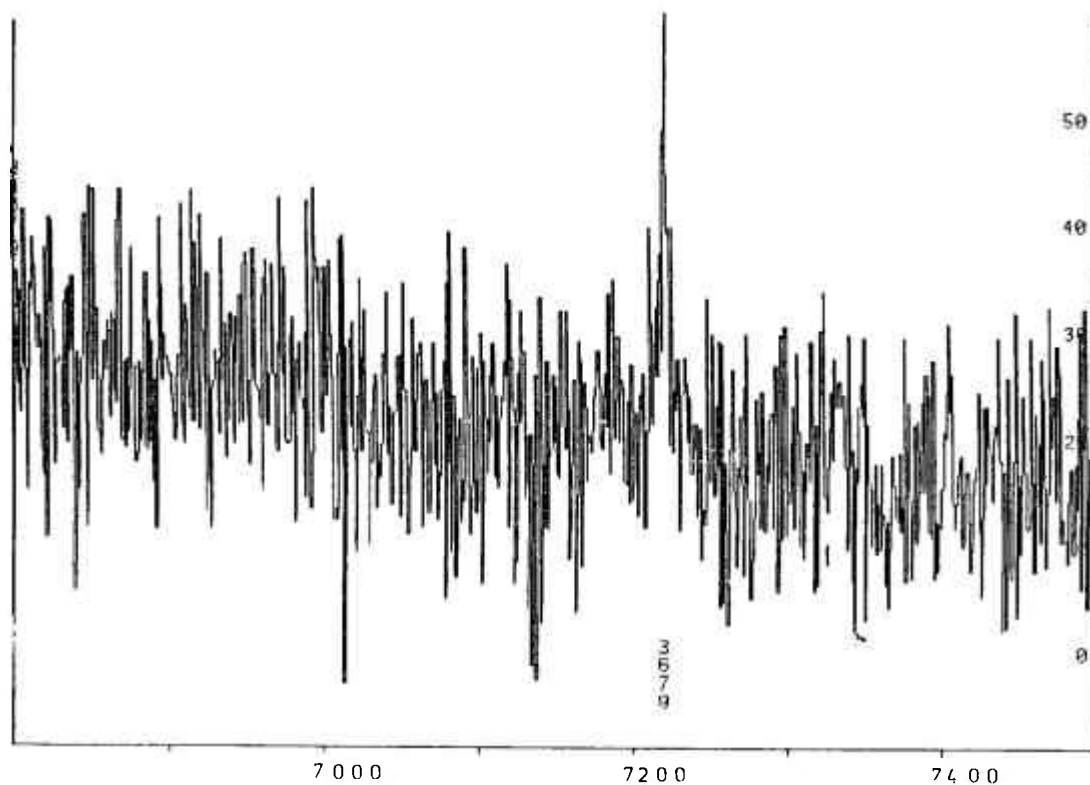
Figura 1.3.s: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 6000-6600)Figura 1.3.t: Espectro das Transições γ do decaimento β^- do ^{72}Ga (canal 6800-7500)

Figura I.4.c: Espectro de fundo (canal 4000-6000)

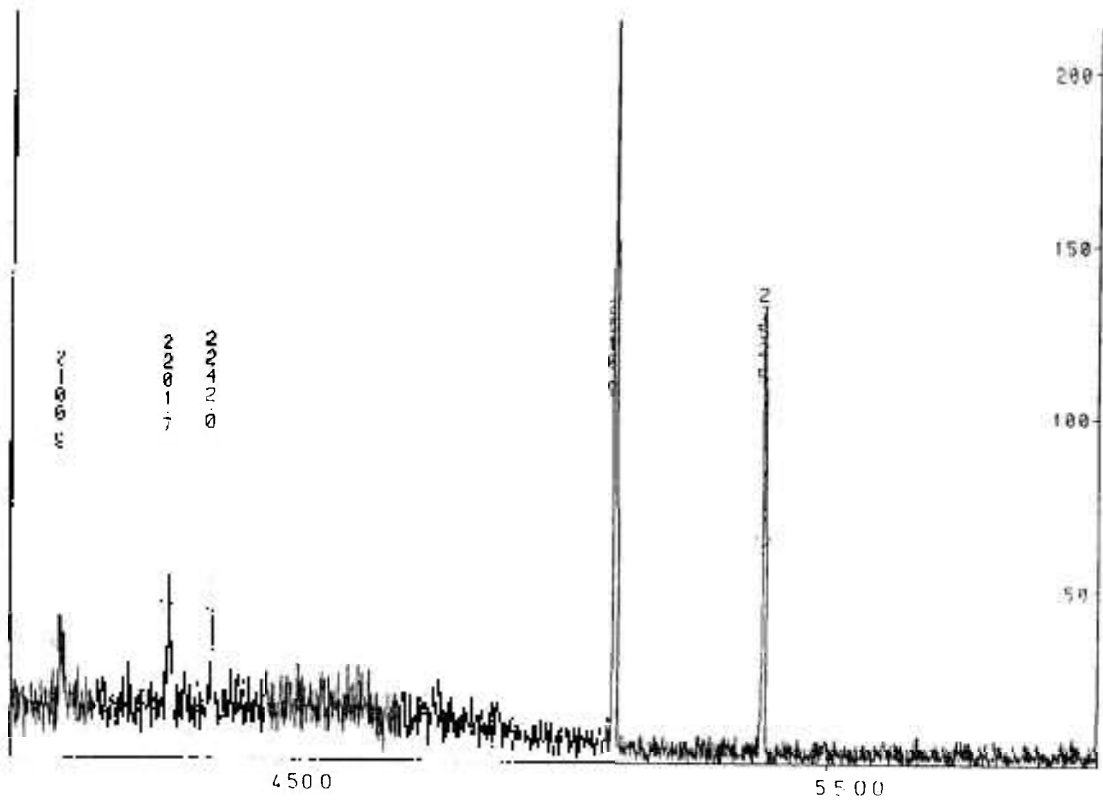
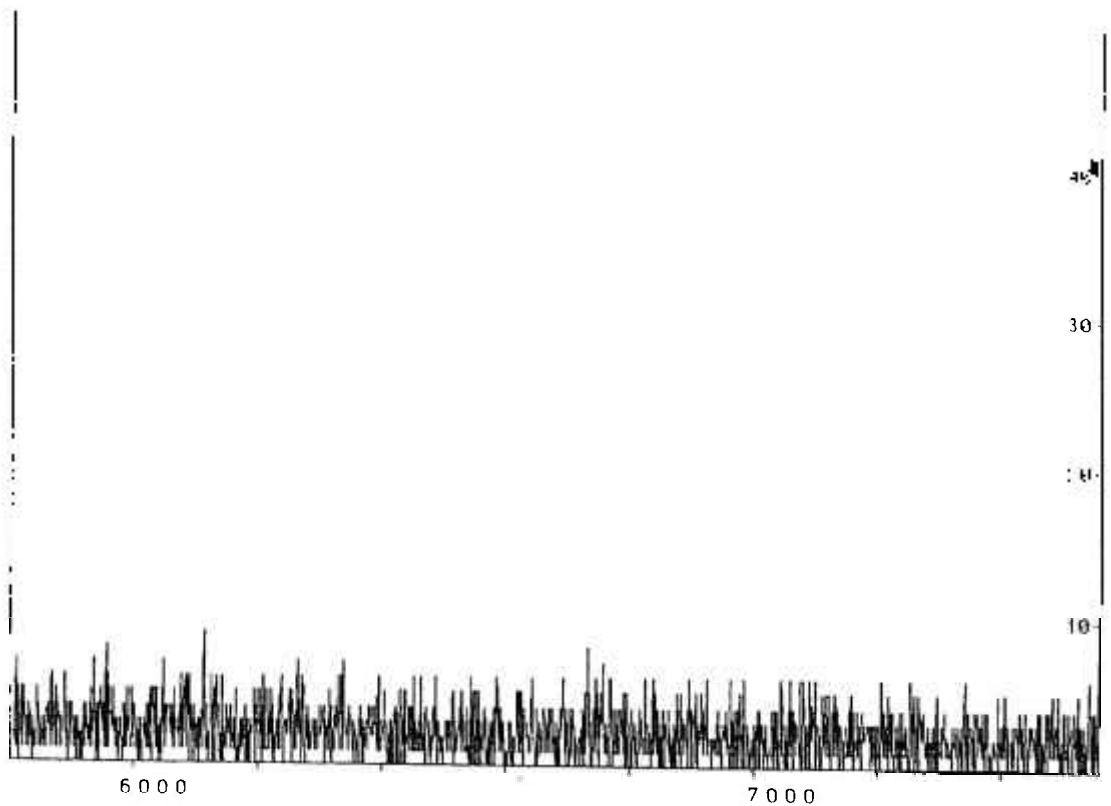


Figura I.4.d: Espectro de fundo (canal 6000-7500).



A identificação das transições γ que compõem o espectro direto (figura I.3) é apresentada nas tabelas I.5.1, I.5.2 e I.5.4. Nas tabelas I.5.1 e I.5.2, são apresentados os fotopicos devido ao simples e duplo escape, respectivamente. Na tabela I.5.4, são apresentadas as transições γ e as respectivas intensidades relativas, atribuídas ao decaimento do ^{72}Ga no presente estudo, juntamente com os dados mais recentes da literatura [3,4] para comparação. São apresentados também os dados referentes ao posicionamento destas transições γ ($E_i \rightarrow E_f$), de acordo com os resultados obtidos na presente medida de coincidência (capítulo II), juntamente com os resultados da compilação Nuclear Data Sheets [1], para comparação.

Os cálculos das áreas das transições γ , pertencentes ao decaimento β^- do ^{72}Ga , corrigidas devido ao simples ou duplo escape são apresentados na tabela I.5.3.

Tabela I.5.1: Área dos fotopicos devido ao simples escape

Simple Escape		
Energia (keV)	Área Prevista (contagens)	Área medida (contagens)
953,19 \pm 0,12	21297 \pm 607	25688 \pm 2585
1060,9 \pm 0,5	8846 \pm 355	12003 \pm 5024
1085,14 \pm 0,08	50093 \pm 2111	44786 \pm 3639
1169,53 \pm 0,09	14121 \pm 664	15381 \pm 1153
1199,68 \pm 0,18	7499 \pm 363	7126 \pm 757
1349,963 \pm 0,030	133384 \pm 6662	125324 \pm 1862
1690,473 \pm 0,015	1158316 \pm 50347	1096633 \pm 2952
1703,07 \pm 0,15	10041 \pm 439	7104 \pm 934
1979,890 \pm 0,017	449326 \pm 14711	422339 \pm 856
1996,540 \pm 0,017	783864 \pm 25108	715414 \pm 1088
2332,98 \pm 0,07	32522 \pm 554	32578 \pm 432
2470,41 \pm 0,27	4777 \pm 71	4602 \pm 100
2815,28 \pm 0,35	673 \pm 30	435 \pm 186
2827,17 \pm 0,23	392 \pm 27	410 \pm 84

Tabela I.5.2: Área dos fotopicos devido ao duplo escape

Duplo Escape		
Energia (keV)	Área Prevista (contagens)	Área medida (contagens)
574,75 \pm 0,037	74824 \pm 1305	76331 \pm 6095
1007,10 \pm 0,17	5153 \pm 59	5827 \pm 981
1087,39 \pm 0,04	57031 \pm 327	61165 \pm 3263
1179,602 \pm 0,013	1560033 \pm 6678	1641075 \pm 2283
1468,946 \pm 0,014	614323 \pm 2225	623367 \pm 1249
1485,622 \pm 0,014	1073099 \pm 3870	1111821 \pm 1530
1492,716 \pm 0,037	25743 \pm 124	29292 \pm 874

Tabela I.5.3: Áreas das transições γ corrigidas devido ao escape

Energia (keV)	Área prevista devido ao escape (contagens)	Área medida (contagens)	Área corrigida (contagens)
839,045 \pm 0,013	182299 \pm 1540	213738 \pm 1365	31439 \pm 2057
878,522 \pm 0,020	279 \pm 14	80997 \pm 1912	80718 \pm 1912
898,43 \pm 0,05	6358 \pm 122	17183 \pm 1151	10825 \pm 1157
1192,24 \pm 0,07	13528 \pm 166	17810 \pm 752	4282 \pm 760
1479,53 \pm 0,07	2959 \pm 158	15093 \pm 887	12134 \pm 900
1519,30 \pm 0,07	3814 \pm 186	30033 \pm 3038	26219 \pm 3043
1613,05 \pm 0,06	1575 \pm 35	25938 \pm 1826	24363 \pm 1826
1821,961 \pm 0,031	46048 \pm 245	51743 \pm 1652	5695 \pm 1670
2109,356 \pm 0,017	9127 \pm 255	553482 \pm 1636	544355 \pm 471
2582,37 \pm 0,06	1323 \pm 19	5906 \pm 227	4583 \pm 227

Tabela 1.5.4: Energias (E), intensidade (I) e posicionamento ($E_i \rightarrow E_f$) das transições γ pertencentes ao decaimento do ^{72}Ga :

PRESENTE TRABALHO	RESTER E OUTROS [4]	CAMP [3]	Presente Trabalho	NDS [1]
ENERGIA (keV) INTENSIDADE a)			$E_i \rightarrow E_f$ (keV)	$E_i \rightarrow E_f$ (keV)
112,715 (32) 0,079 (5)	112,52 (3) 0,11 (5)	112,50 (5) 0,142 (6)	2514→2402	^{b)} 2514→2402
—	—	113,5 (1) 0,006 (1)	—	^{b)} 3455→3341
142,719 (35) 0,0087 (7)	142,54 (6) 0,013 (2)	142,5 (1) 0,011 (1)	834→691	834→691
223,03 (6) 0,0059 (5)	—	—	—	—
228,227 (27) 0,0237 (7)	—	—	—	—
231,061 (26) 0,0284 (8)	—	230,6 (6) 0,024 (7)	3325→3094 ^{b)} 2694→2464	3325→3094
289,532 (20) 0,2131 (14)	289,3 (3) 0,18 (1)	289,5 (2) 0,210 (7)	3325→3035	3325→3035
306,190 (26) 0,0259 (9)	—	306,0 (3) 0,022 (2)	3341→3035	3341→3035
317,872 (26) 0,0218 (5)	—	317,5 (4) 0,023 (2)	3757→3439 ^{b)} 3565→3247	3757→3439
336,696 (19) 0,1308 (13)	336,3 (3) 0,11 (1)	336,6 (2) 0,112 (3)	2065→1728	2065→1728
374,341 (34) 0,0186 (8)	—	—	3325→2950	—
381,694 (17) 0,3211 (17)	381,2 (2) 0,28 (1)	381,2 (2) 0,289 (8)	3325→2943	3325→2943
398,92 (5) 0,0155 (7)	—	—	—	—
402,03 (4) 0,0180 (7)	—	401,3 (4) 0,034 (2)	3341→2940	3341→2940
428,649 (15) 0,2306 (19)	428,3 (3) 0,23 (1)	428,4 (2) 0,192 (8)	2943→2514	2943→2514
^{d)} 436,037 (33) 0,019	—	—	2950→2514	—
449,840 (16) 0,1210 (19)	449,6 (3) 0,16 (2)	449,5 (3) 0,092 (6)	2514→2065	2514→2065
479,461 (17) 0,1071 (20)	479,1 (3) 0,11 (1)	479,6 (3) 0,090 (6)	2943→2464	2943→2464
496,075 (34) 0,0592 (9)	496,2 (4) 0,060 (8)	495,7 (3) 0,059 (5)	3439→2943	3439→2943

PRESENTE TRABALHO		RESTER E OUTROS [4]		CAMP [3]		Presente Trabalho	NDS [1]
ENERGIA (keV) INTENSIDADE a)						$E_i \rightarrow E_f$ (keV)	$E_i \rightarrow E_f$ (keV)
520,851 0,0638	(19) (20)	520,8 0,066	(4) (7)	520,7 0,054	(3) (4)	3035→2514	3035→2514
570,94 0,0169	(6) (28)	—	—	—	—	—	—
587,450 0,1493	(21) (15)	587,9 0,11	(4) (1)	587,4 0,130	(3) (4)	3341→2754	3341→2754
600,916 6,13	(12) (5)	600,85 5,7	(3) (2)	600,9 5,840	(1) (135)	2065→1464	2065→1464
629,979 27,38	(12) (20)	629,86 26,4	(4) (8)	629,9 25,500	(1) (670)	1464→834 b) 3325→2694	1464→834
633,462 0,1655	(14) (25)	—	—	—	—	3035→2402	—
642,466 0,1110	(14) (11)	—	—	—	—	3678→3035	—
735,694 0,3915	(12) (27)	735,9 0,39	(2) (1)	735,6 0,376	(2) (11)	2464→1728	2464→1728
738,271 0,0489	(23) (12)	—	—	738,5 0,057	(4) (4)	3678→2940	3678→2940
772,643 0,0301	(27) (15)	772 0,045	(1) (9)	c) 772,6 0,013	(3) (1)	1464→691	1464→691
786,529 3,532	(12) (16)	786,4 3,41	(1) (9)	786,5 3,314	(1) (73)	2514→1728	2514→1728
810,355 2,201	(12) (10)	810,24 2,10	(9) (9)	810,2 2,100	(2) (46)	3325→2514	3325→2514
827,145 0,1063	(15) (13)	—	—	—	—	3341→2514	—
834,170 100,0	(12)	834,02 100,0	(3)	833,95 100	(5)	834→0	834→0
839,045 0,0262	(13) (17)	—	—	—	—	2303→1464	—
861,184 0,987	(12) (5)	861,11 0,96	(5) (3)	861,0 0,953	(2) (26)	3325→2464	3325→2464
878,522 0,0705	(20) (17)	878,0 0,079	(4) (8)	878,4 0,074	(2) (7)	2943→2065	2943→2065
894,336 10,63	(12) (4)	894,22 10,4	(5) (3)	894,2 10,300	(1) (220)	1728→834	1728→834
898,43 0,0097	(5) (10)	—	—	—	—	—	—
923,044 0,0435	(38) (17)	—	—	—	—	3325→2402	—

PRESENTE TRABALHO		RESTER E OUTROS [4]		CAMP [3]		Presente Trabalho	NDS [1]
ENERGIA (keV) INTENSIDADE a)						$E_i \rightarrow E_f$ (keV)	$E_i \rightarrow E_f$ (keV)
924,795 0,1223	(17) (18)	924,1 0,15	(2) (1)	924,5 0,149	(3) (4)	3439→2514	3439→2514
932,49 0,0118	(11) (13)	—	—	—	—	—	—
938,28 0,0707	(6) (33)	—	—	938,4 0,080	(2) (3)	2402→1464	2402→1464
939,648 0,2937	(16) (28)	939,35 0,27	(8) (2)	939,4 0,271	(2) (7)	3341→2402	3341→2402
—	—	940,5 0,11	(1) (2)	^{c)} 940,6 0,008	(3) (1)	—	^{b)} 3455→2514
970,772 1,163	(12) (6)	970,54 1,14	(6) (3)	970,6 1,155	(2) (24)	3035→2065	3035→2065
975,539 0,0474	(23) (11)	—	—	975,5 0,035	(5) (10)	3439→2464	3439→2464
999,995 0,851	(12) (4)	999,86 0,84	(6) (2)	999,9 0,832	(2) (24)	2464→1464	2464→1464
1032,094 0,0766	(22) (17)	1032,8 0,079	(4) (9)	1032,0 0,065	(3) (5)	3097→2065	—
1037,35 0,0183	(6) (12)	—	—	1037,2 0,022	(6) (2)	3439→2402	3439→2402
1050,800 7,32	(12) (4)	1050,69 7,2	(6) (2)	1050,7 7,243	(1) (150)	2514→1464	2514→1464
—	—	—	—	1155,7 0,011	(6) (2)	—	^{b)} 3619→2464
1163,324 0,1062	(20) (16)	1163,2 0,068	(4) (9)	1163,1 0,082	(2) (6)	3678→2514	3678→2514
1192,24 0,005	(7) (1)	1192,4 0,037	(4) (8)	^{c)} 1193,4 0,105	(3) (3)	—	^{b)} 3708→2514
1215,139 0,863	(13) (6)	1215,16 0,82	(8) (2)	1215,1 0,833	(2) (22)	2943→1728	2943→1728
1230,934 1,513	(13) (10)	1230,86 1,53	(7) (4)	1230,9 1,513	(2) (32)	2065→834	2065→834
1260,124 1,244	(13) (8)	1260,10 1,15	(8) (3)	1260,1 1,200	(2) (25)	3325→2065	3325→2065
1276,798 1,669	(13) (11)	1276,75 1,63	(8) (2)	1276,8 1,646	(2) (34)	3341→2065	3341→2065
1291,417 0,0506	(34) (20)	—	—	1291,3 0,059	(4) (5)	—	—
1361,66 0,0146	(13) (16)	—	—	—	—	—	—

PRESENTE TRABALHO	RESTER E OUTROS [4]	CAMP [3]	Presente Trabalho	NDS [1]
ENERGIA (keV) INTENSIDADE a)			$E_i \rightarrow E_f$ (keV)	$E_i \rightarrow E_f$ (keV)
1368,640 (38) 0,0553 (18)	—	—	3097→1728	
1374,37 (10) 0,0189 (15)	—	—	—	—
1390,304 (21) 0,0868 (20)	1390,5 (4) 0,090 (9)	1390,4 (2) 0,089 (7)	3455→2065	3455→2065
1464,054 (14) 3,763 (31)	1464,0 (1) 3,7 (1)	1464,0 (1) 3,717 (78)	1464→0	1464→0
1476,02 (21) 0,0072 (13)	^{c)} 1475,91 (7) 0,63 (2)	^{c)} 1475,8 (2) 0,642 (16)	2940→1464	2940→1464
1479,53 (7) 0,0178 (13)	—	—	2943→1464	
1500,47 (7) 0,0209 (13)	1501 (1) 0,018 (4)	1500,9 (6) 0,020 (1)	3565→2065	^{b)} 3566→2065
1519,30 (7) 0,039 (5)	1520 (1) 0,021 (4)	1519,2 (6) 0,036 (2)	3247→1728	
—	—	1541,2 (6) 0,017 (1)		
1568,071 (20) 0,1739 (24)	1567,9 (4) 0,21 (4)	1568,2 (3) 0,208 (7)	2402→834	2402→834
1571,600 (14) 0,897 (9)	1571,5 (2) 0,84 (3)	1571,7 (2) 0,873 (25)	3035→1464	3035→1464
1596,735 (14) 4,58 (4)	1596,65 (9) 4,5 (4)	1596,8 (2) 4,428 (91)	3325→1728	3325→1728
1613,05 (6) 0,0388 (29)	1615 (1) 0,040 (8)	1613,5 (3) 0,042 (8)	3678→2065	3678→2065
1629,90 (22) 0,025 (4)	1630 (1) 0,034 (6)	—	2464→834	2464→834
1633,35 (5) 0,114 (10)	—	—	3097→1464	
1680,741 (15) 0,960 (10)	1680,77 (8) 1,04 (4)	1680,8 (2) 0,907 (24)	2514→834	2514→834
1710,33 (8) 0,19 (6)	1710,9 (2) 0,43 (2)	1710,9 (2) 0,400 (10)	2402→691	2402→691
1711,17 (13) 0,27 (4)	1711,3 (2) 0,10 (1)	1711,0 (2) 0,045 (2)	3439→1728	3439→1728
1821,961 (31) 0,0103 (30)	—	—		
1837,148 (19) 0,231 (4)	1837,8 (2) 0,24 (1)	1837,1 (3) 0,212 (6)	3565→1728	^{b)} 3566→1728
1860,990 (16) 5,67 (7)	1861,09 (8) 5,5 (1)	1861,1 (1) 5,470 (116)	3325→1464	3325→1464

PRESENTE TRABALHO	RESTER E OUTROS [4]	CAMP [3]	Presente Trabalho	NDS [1]
ENERGIA (keV) INTENSIDADE a)			$E_i \rightarrow E_f$ (keV)	$E_i \rightarrow E_f$ (keV)
1877,680 (19) 0,244 (4)	1878,0 (3) 0,24 (2)	1877,8 (3) 0,242 (6)	3341→1464	3341→1464
1898,48 (20) 0,0121 (18)	—	—	—	—
1920,226 (24) 0,176 (4)	1920,2 (3) 0,15 (2)	1920,2 (2) 0,166 (5)	2754→834	2754→834
1991,157 (33) 0,0981 (25)	^{c)} 1991,14 (8) 0,48 (2)	1991,3 (3) 0,117 (3)	3455→1464	3455→1464
2028,93 (5) 0,1187 (20)	2030,4 (8) 0,10 (2)	2029,1 (4) 0,130 (4)	3757→1728	3757→1728
2109,356 (17) 1,147 (17)	2109,5 (1) 1,12 (3)	2109,5 (2) 1,081 (23)	2943→834	2943→834
2116,77 (8) 0,0286 (17)	^{c)} 2116,7 (4) 0,041 (6)	^{c)} 2116,5 (3) 0,035 (2)	2950→834	
2201,582 (17) 28,2 (5)	2201,67 (8) 26,8 (8)	2201,6 (2) 27,270 (570)	3035→834	3035→834
2214,022 (20) 0,241 (4)	2214,5 (8) 0,16 (2)	2214,3 (3) 0,194 (11)	3678→1464	3678→1464
2402,58 (8) 0,0464 (18)	—	2402,2 (4) 0,025 (2)	2402→0 3094→691	^{b)} 2402→0 3094→691
—	—	2402,5 (3) 0,017 (2)		
—	2404,3 (8) 0,016 (4)	—		3094→691
2491,029 (18) 8,1 (2)	2490,98 (8) 8,3 (2)	2491,0 (2) 7,820 (175)	3325→834	3325→834
2507,714 (18) 14,0 (3)	2507,80 (8) 13,3 (4)	2507,7 (2) 13,400 (295)	3341→834	3341→834
2514,857 (19) 0,334 (7)	2515,6 (5) 0,25 (2)	2514,6 (4) 0,264 (10)	2514→0	2514→0
2582,37 (6) 0,0123 (7)	2583,5 (4) 0,035 (7)	2582,2 (12) 0,015 (1)	2582→0	^{b)} 2583→0
2585,74 (19) 0,0053 (6)	^{c)} 2585,0 (3) 0,12 (1)	^{c)} 2585,7 (4) 0,075 (9)	3419→834	
2605,44 (5) 0,0152 (6)	2606 (1) 0,013 (3)	2605,4 (4) 0,021 (2)	3439→834	3439→834
2621,281 (23) 0,150 (4)	2621,0 (4) 0,15 (2)	2621,1 (3) 0,137 (4)	3455→834	3455→834
2633,57 (4) 0,0185 (6)	2633,8 (4) 0,012 (2)	2634,0 (7) 0,016 (1)	3325→691	3325→691
2686,36 (32) 0,0008 (2)	—	—		

PRESENTE TRABALHO	RESTER E OUTROS [4]	CAMP [3]	Presente Trabalho	NDS [1]
ENERGIA (keV) INTENSIDADE a)			$E_i \rightarrow E_f$ (keV)	$E_i \rightarrow E_f$ (keV)
2691,4 (4) 0,0008 (2)	—	—		
2694,49 (15) 0,0026 (2)	—	—	<i>b)</i> 2694 \rightarrow 0	—
2785,833 (37) 0,0315 (10)	2785,2 (6) 0,032 (6)	2785,1 (5) 0,031 (2)	3619 \rightarrow 834	<i>b)</i> 3619 \rightarrow 834
2831,657 (15) 0,0030 (3)	—	—	—	—
2844,171 (35) 0,467 (13)	2844,1 (2) 0,50 (2)	2843,9 (2) 0,429 (12)	3678 \rightarrow 834	3678 \rightarrow 834
2898,36 (12) 0,0037 (4)	—	2897,1 (8) 0,005 (1)		
2940,19 (6) 0,0154 (6)	—	2939,6 (4) 0,011 (1)	2940 \rightarrow 0	<i>b)</i> 2940 \rightarrow 0
—	2942,4 (9) 0,027 (6)	—		<i>b)</i> 2943 \rightarrow 0
2951,09 (9) 0,0049 (3)	—	2950,0 (5) 0,004 (1)	2950 \rightarrow 0	<i>b)</i> 2950 \rightarrow 0
2981,50 (5) 0,0643 (21)	2981,4 (4) 0,072 (13)	2981,0 (3) 0,055 (5)	3815 \rightarrow 834	3815 \rightarrow 834
3035,52 (6) 0,0201 (8)	3034,5 (5) 0,004 (2)	3035,0 (9) 0,005 (1)	3035 \rightarrow 0	3035 \rightarrow 0
3067,32 (11) 0,0038 (3)	—	3067,0 (6) 0,003 (1)	3067 \rightarrow 0	
3094,39 (10) 0,0170 (6)	3093,9 (7) 0,026 (8)	3093,7 (3) 0,017 (2)	3094 \rightarrow 0	3094 \rightarrow 0
3325,35 (11) 0,0081 (5)	3324,4 (5) 0,004 (2)	3325,0 (6) 0,003 (1)	3325 \rightarrow 0	3325 \rightarrow 0
3338,55 (15) 0,0047 (4)	—	3338,0 (4) 0,003 (1)	3338 \rightarrow 0	<i>b)</i> 3338 \rightarrow 0
3341,77 (12) 0,0086 (5)	3340, (1) 0,005 (2)	—	3341 \rightarrow 0	
3678,5 (4) 0,0009 (2)	—	—	3678 \rightarrow 0	

a) Intensidade relativa (em percentagem) à transição de 834,170 keV considerada como 100%, exceto para a energia de 436 keV obtida pelo método estatístico da referência [10]

b) Posicionamento da transição γ no esquema de decaimento é incerto

c) Observado somente no decaimento β^+ do ^{72}As [3,11]

d) Observada somente nas medidas de coincidências.

De acordo com a tabela I.5.4 foram identificadas 111 transições γ , sendo que 28 estão sendo observadas pela primeira vez, 15 foram posicionadas (tabela I.5.5) e 20 estão sendo confirmadas (tabela I.5.6).

I.5.1 Transições γ observadas pela primeira vez

Na tabela I.5.5, são apresentadas as energias das 28 transições γ observadas pela primeira vez pelo decaimento β^- do ^{72}Ga .

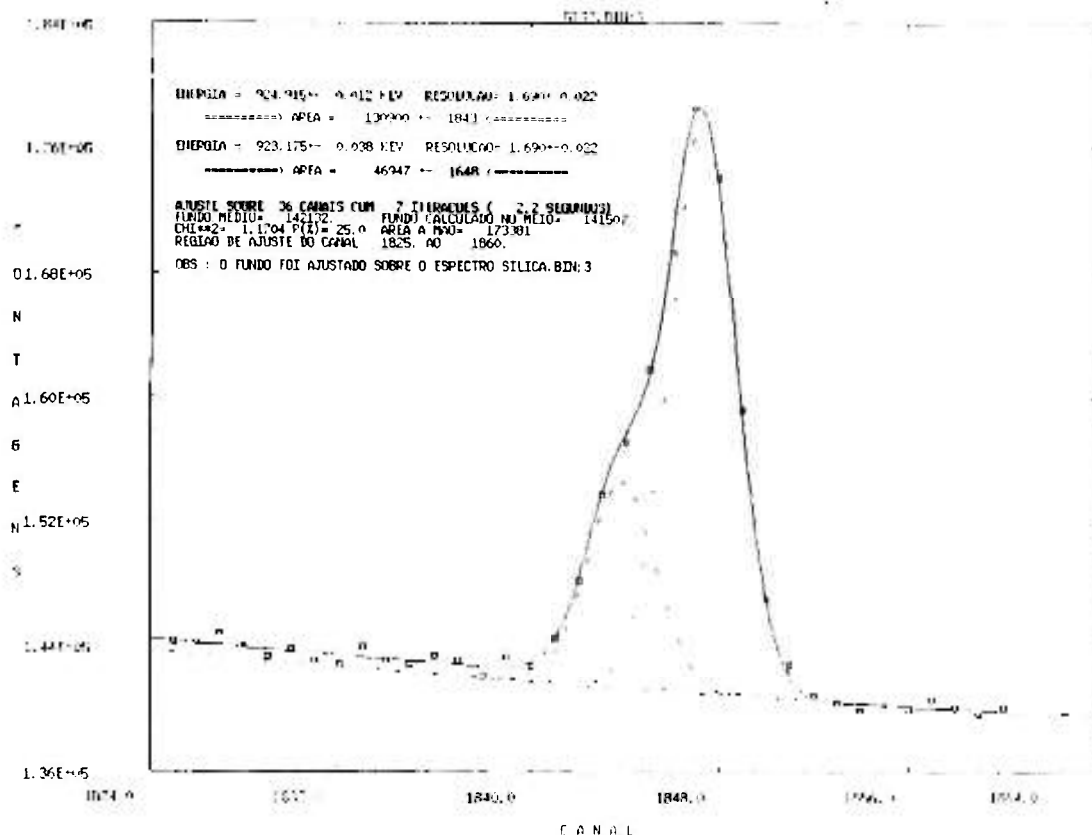
Tabela I.5.5: Energia das transições γ observadas pela primeira vez

Energia (keV)	$E_i \rightarrow E_f$ (keV)
223,03 \pm 0,06	---
228,227 \pm 0,027	---
374,341 \pm 0,034	3325 \rightarrow 2950
398,92 \pm 0,05	---
436,037 \pm 0,033	2950 \rightarrow 2514
570,94 \pm 0,06	---
633,462 \pm 0,014	3035 \rightarrow 2402
642,466 \pm 0,014	3678 \rightarrow 3035
827,145 \pm 0,015	3341 \rightarrow 2514
839,045 \pm 0,013	2303 \rightarrow 1464
898,43 \pm 0,05	---
923,044 \pm 0,038	3325 \rightarrow 2402
932,49 \pm 0,11	---
1361,66 \pm 0,13	---
1368,640 \pm 0,038	3097 \rightarrow 1728
1374,37 \pm 0,10	---
1476,02 \pm 0,21	2940 \rightarrow 1464
1479,53 \pm 0,07	2943 \rightarrow 1464
1633,35 \pm 0,05	3097 \rightarrow 1464
1821,961 \pm 0,031	---
1898,48 \pm 0,20	---
2116,77 \pm 0,08	2950 \rightarrow 834
2585,74 \pm 0,19	3419 \rightarrow 834
2686,36 \pm 0,32	---
2691,4 \pm 0,4	---
2694,49 \pm 0,15	2694 \rightarrow 0
2831,657 \pm 0,015	---
3678,5 \pm 0,4	3678 \rightarrow 0

As energias foram determinadas a partir do espectro soma de 207 horas de medida (figura I.3), exceto para a transição γ de 436 keV, e a confirmação da presença destas transições γ no decaimento β^- da ^{72}Ga bem como seu posicionamento, quando possível, foi dada pelo experimento de coincidências $\gamma\gamma$ (capítulo II). Com relação à transição γ de 436 keV, sua identificação só foi possível através das medidas de coincidências, como será descrito na análise do nível a 2950 keV, no capítulo III.

A determinação da energia da transição γ de 923 keV foi obtida a partir do ajuste do dubleto, 923 keV (3325 keV \rightarrow 2402 keV) e 924 keV (3439 keV \rightarrow 2514 keV), como mostra a figura I.5. A confirmação da presença desta transição γ no esquema de decaimento foi dada pela medida de coincidência da própria janela em energia (figura III.8). Além disso, foi observada a presença da transição γ de 923 keV na janela em energia das transições γ de 1568 keV e 1710 keV (tabela II.1).

Figura I.5: Ajuste do duplete em 923 keV



1.5.2. Transições γ confirmadas

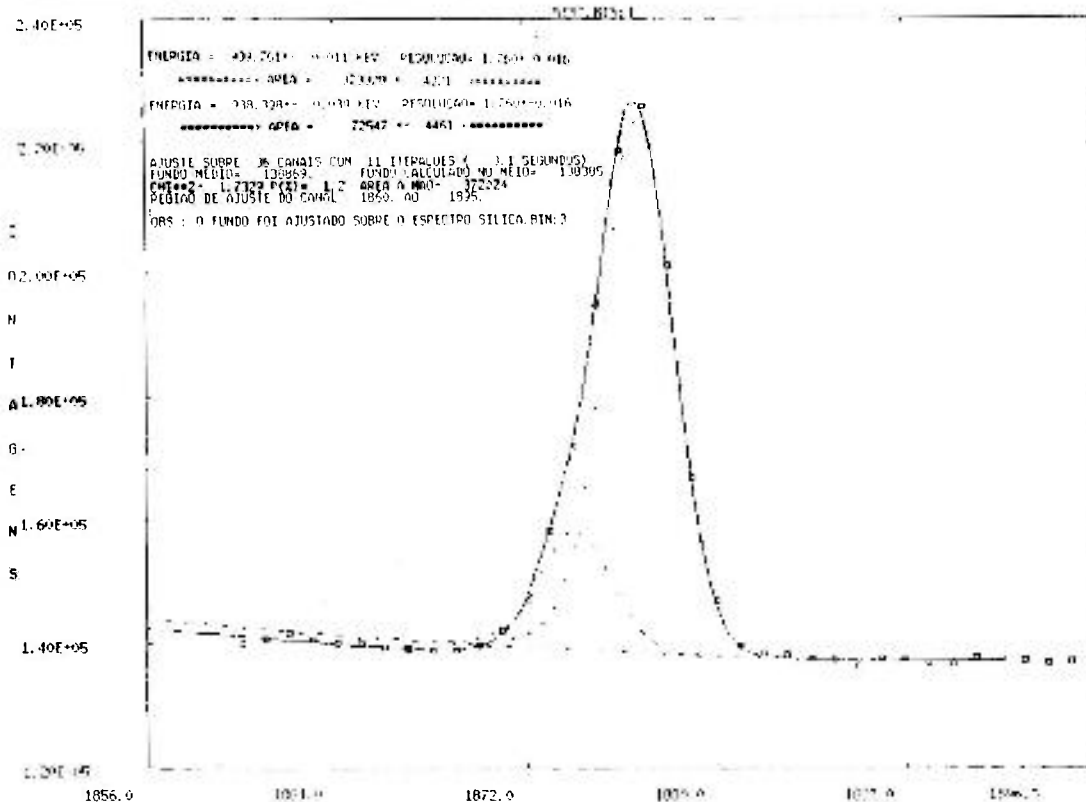
Na tabela I.5.6, são apresentadas as energias das 20 transições γ confirmadas no presente estudo, juntamente com os dados referentes ao posicionamento, quando foi possível. Com relação às transições γ de 317 keV, 938 keV e 2402 keV, foi verificada a possibilidade de duplete, sugerida em função dos resultados apresentados nas medidas de coincidências. Entretanto, o ajuste desses dubletos só foi possível para a energia de 938 keV, como mostra a figura I.6, confirmando, assim, a presença do duplete, 938 keV (2402 keV \rightarrow 1464 keV) e 939 keV (3341 keV \rightarrow 2402 keV) proposto por Camp [3].

Como será discutido no capítulo III, na análise dos níveis a 3094 keV, 3325 keV e 3565 keV, apesar de não ser possível a identificação dos dubletos a 231 keV, 317 keV e 2402 keV, as relações de coincidências obtidas no presente estudo sustentam estas proposições.

Tabela I.5.6: Energia das transições γ do ^{72}Ge confirmadas no presente trabalho

Energia (keV)	Posicionamento E_i (keV) \rightarrow E_f (keV)
231,061 \pm 0,026	2694 \rightarrow 2464
306,190 \pm 0,026	3341 \rightarrow 3035
317,872 \pm 0,026	3757 \rightarrow 3439 3565 \rightarrow 3247
402,03 \pm 0,04	3341 \rightarrow 2940
738,271 \pm 0,023	3678 \rightarrow 2940
772,643 \pm 0,027	1464 \rightarrow 691
938,28 \pm 0,06	2402 \rightarrow 1464
975,539 \pm 0,023	3439 \rightarrow 2464
1037,35 \pm 0,06	3439 \rightarrow 2402
1192,24 \pm 0,07	—
1291,417 \pm 0,034	—
1629,90 \pm 0,22	2464 \rightarrow 834
1991,157 \pm 0,033	3455 \rightarrow 1464
2402,58 \pm 0,08	2402 \rightarrow 0 3094 \rightarrow 691
2898,36 \pm 0,12	—
2940,19 \pm 0,06	2940 \rightarrow 0
2951,09 \pm 0,09	2950 \rightarrow 0
3067,32 \pm 0,11	3067 \rightarrow 0
3338,55 \pm 0,15	3338 \rightarrow 0
3341,77 \pm 0,12	3341 \rightarrow 0

Figura I.6: Ajuste do dubleto em 938 keV



1.5.3. Transições γ não observadas

De acordo com a tabela I.5.4, seis transições γ , anteriormente atribuídas a este decaimento, a saber: 113 keV, 940 keV, 1155 keV, 1541 keV, 2404 keV e 2942 keV não foram observadas. Desta forma, foram efetuados cálculos do limite máximo de intensidade, na região de energia do espectro do ^{72}Ge , onde estas transições γ deveriam estar localizadas, pelo método estatístico descrito na referência [10]. Estes cálculos foram efetuados com um nível de confiança de 95 %. Os resultados são apresentados na tabela I.5.7, juntamente com os dados mais recentes da literatura [1], para comparação.

Tabela I.5.7: Intensidades relativas das transições γ não observadas previstas pelo método estatístico da referência [10]

Energia da transição γ (keV)	Intensidade relativa I(%)	
	Presente trabalho	Referência [1]
113,5 \pm 0,1	—	0,006 + 0,001 [3]
940,5 \pm 0,1	—	0,11 + 0,02 [4]
1155,7 \pm 0,6	0,0005	0,011 + 0,002
1541,2 \pm 0,6	0,0010	0,017 + 0,001
2404,3 \pm 0,8	—	0,016 + 0,004
2942,4 \pm 0,9	—	0,027 + 0,006

Observando os dados apresentados na tabela I.5.7, pode-se verificar que o limite superior para a intensidade das transições γ de 113 keV e 940 keV não pode ser calculado pois se trata de multipletos atribuídos ao decaimento β^- do ^{72}Ga [1]. Com relação às transições de 2404 keV e 2942 keV, os limites também não puderam ser calculados devido à proximidade com as energias de 2402 keV e 2940 keV, respectivamente. Para o fotopico referente a transição γ de 1155 keV pode-se verificar que o limite de observação encontrado no presente cálculo é bem menor quando comparado à intensidade sugerida na literatura. Já, para o fotopico de 1541 keV o resultado obtido está de acordo com o proposto por Camp [3]. Pode-se, então, admitir que se estas duas transições γ existem, com os valores de intensidade previstos pelo NDS [1], certamente teriam sido observados.

1.5.4. Outros resultados

Com relação a transição γ de 436 keV, evidenciada somente pelo experimento de coincidência $\gamma\gamma$ (capítulo II), não foi possível o cálculo de sua intensidade relativa conforme descrição apresentada na seção 1.4.3. Desta forma, foi calculado o seu limite máximo de intensidade através do método estatístico da referência [10], obtendo-se 0,019 %, para um nível de confiança de 95%. Apesar da intensidade obtida ser comparável aquela da transição γ de 402 keV ($I=0,018 \pm 0,007$), seu posicionamento na região de contribuição Compton não tornou possível sua observação na medida de espectroscopia.

Capítulo II

II. Medida de coincidência $\gamma\gamma$

II.1. Introdução

Neste capítulo, será descrita a medida de coincidência $\gamma\gamma$ que se constitui na tomada de espectros biparamétricos das transições γ provenientes do decaimento β^- do ^{72}Ga . Esta medida visa confirmar as transições γ , observadas na medida de espectroscopia- γ , através das relações de coincidências reais entre as mesmas.

Coincidências reais são as provenientes de um mesmo núcleo e obtidas pelo cálculo das coincidências totais menos as acidentais. Coincidências acidentais são as provenientes de núcleos distintos, isto é, uma transição γ de um núcleo é detetada por um dos detetores e, simultaneamente, uma transição γ de outro núcleo é detetada no outro detetor. Coincidências totais são observadas pela superposição de reais e acidentais.

A determinação experimental das relações de coincidências reais permite o correto posicionamento das transições γ no esquema de níveis do ^{72}Ge , esclarecendo melhor sua estrutura.

II.2. Instrumentação

Nesta etapa, será descrita a instrumentação utilizada na tomada dos espectros biparamétricos, compreendida por um espectrômetro $\gamma\gamma$ associado ao sistema eletrônico e de aquisição de dados.

II.2.1. Espectrômetro $\gamma\gamma$

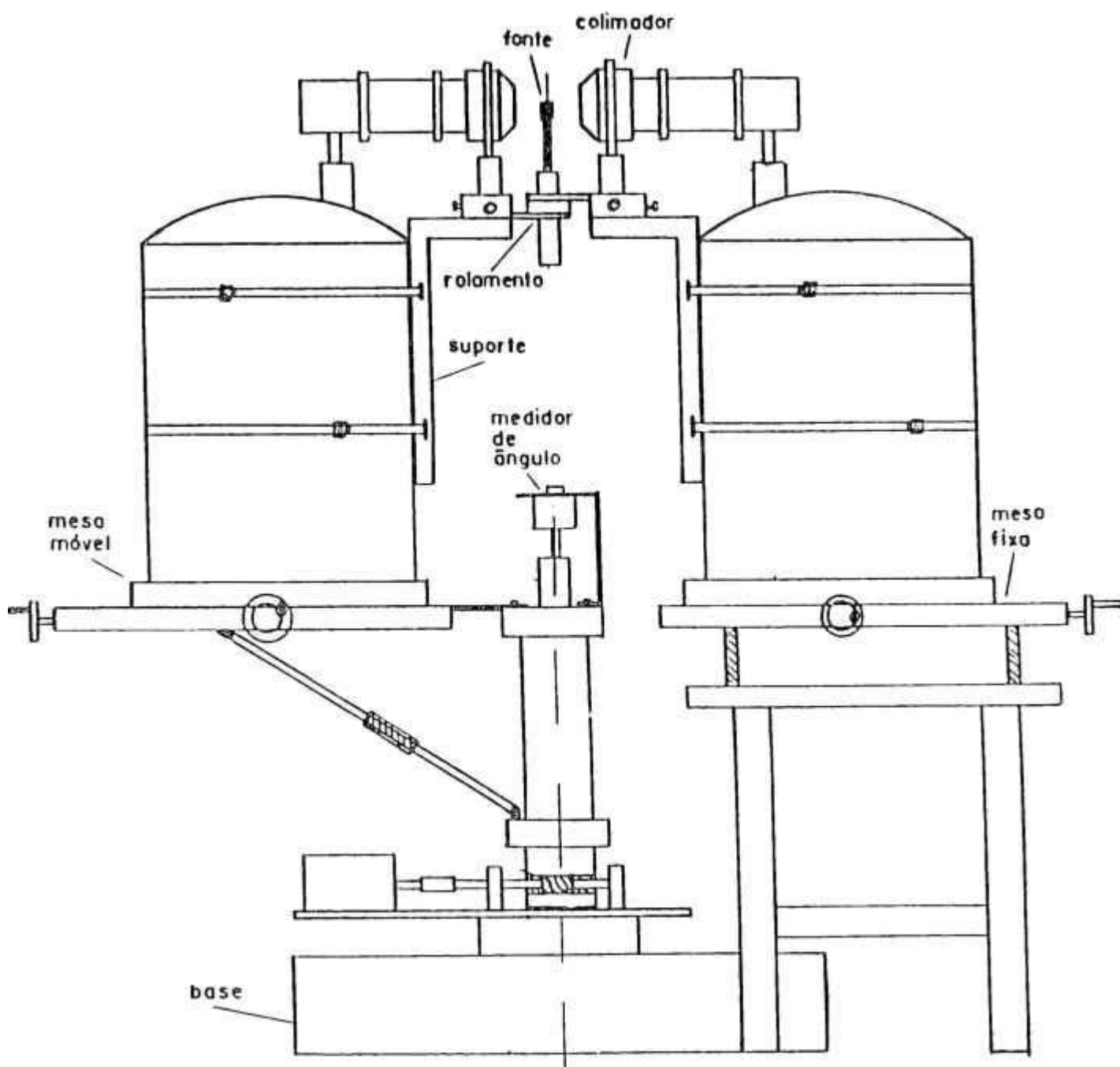
O espectrômetro consiste de uma base com um eixo mecânico e duas mesas, uma móvel e outra fixa, que suportam os dois detetores utilizados. A mesa móvel, que pode ocupar qualquer posição entre 90° e 180° , gira em torno de um eixo de rotação, posicionado exatamente no centro geométrico do arranjo, onde é posicionada a fonte.

Foram utilizados para medidas de coincidências $\gamma\gamma$ dois detetores de estado sólido: um HPGe de 89 cm^3 e um Ge(Li) de 60 cm^3 . A resolução em energia para transição de 1332 keV do decaimento do ^{60}Co é de $1,98\text{ keV}$ para o detetor de HPGe e de $2,1\text{ keV}$ para o detetor de Ge(Li).

Os detectores foram montados de tal forma que os eixos de simetria dos cristais formavam um ângulo de 130° , sendo a fonte posicionada na intersecção dos eixos a 6 cm dos detectores.

Colimadores cônicos de chumbo envolviam os detectores com a finalidade de impedir que fótons espalhados em um detector fossem coletados no outro, provocando um evento de coincidência espúrio. Este arranjo pode ser visualizado na figura II.1.

Figura II.1: Esquema do espectrômetro $\gamma\gamma$



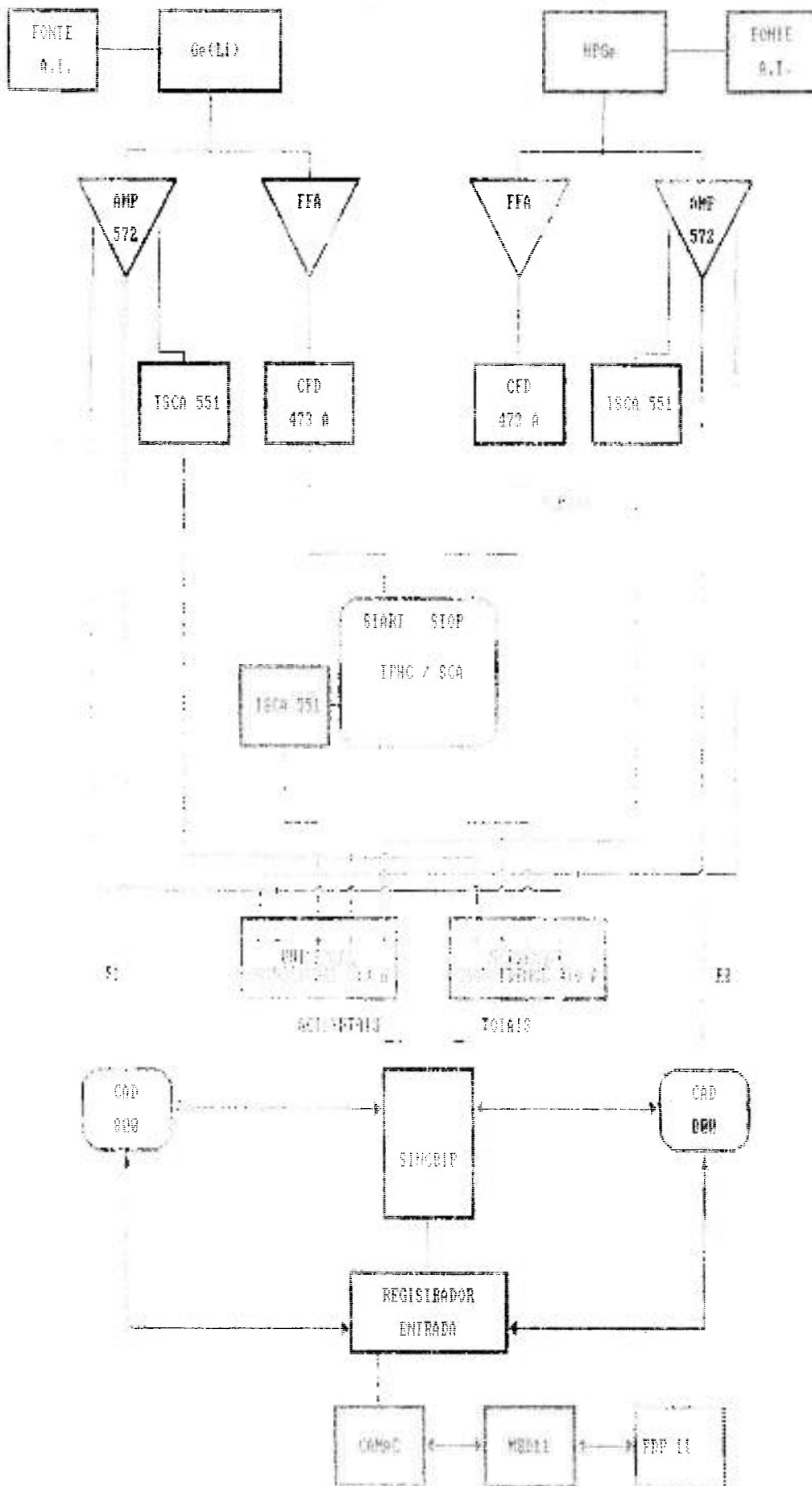
II.2.2. Eletrônica de coincidência

A eletrônica de aquisição de coincidência utilizada é do tipo rápido-lento. A parte rápida deste sistema é responsável pela formação e amplificação dos sinais dos detetores, com boa caracterização em tempo. É a parte rápida do sistema que permite selecionar, através da coincidência temporal, os raios- γ emitidos por um mesmo núcleo. A parte lenta, por sua vez, processa os sinais, tornando-os lineares e de maior duração, para análise de sua altura, que contém a informação de energia. O diagrama de blocos deste sistema, com combinação de detetores de HPGe e Ge(Li) descritos em II.2.1., é apresentado na figura II.2.

Os detetores são alimentados por fontes de alta tensão. De cada detetor são extraídos dois sinais, um para a parte rápida e outro para a parte lenta da eletrônica. Na parte lenta, os pulsos produzidos em cada detetor, devido à incidência da radiação- γ , após serem pré-amplificados entram nos amplificadores lineares ORTEC-572. O amplificador de cada detetor processa os sinais recebidos e transmite três sinais: unipolar, bipolar e empilhamento. Os pulsos unipolares de cada amplificador, lineares com altura proporcional à energia da radiação- γ incidente, são transmitidos a conversores analógicos-digitais ORTEC-800 (CAD) para a conversão do pulso proporcional à energia. Os pulsos bipolares são transmitidos a analisadores monocanais ORTEC-551 que têm a função de gerar um pulso lógico indicando a presença de sinal no respectivo amplificador. Esses sinais seguem para duas unidades de coincidências ORTEC-418A (Universal Coincidence), uma, responsável pela aquisição de eventos totais, e outra, pelos eventos acidentais. O sinal de empilhamento (pulso lógico) indica a sobreposição de sinais devido à intensidade elevada da taxa de incidência dos raios- γ nos respectivos detetores. Os sinais de empilhamento de cada amplificador são enviados às unidades de coincidências, onde são analisados em anti-coincidência com os demais sinais.

Na parte rápida da eletrônica, os pulsos provenientes de cada pré-amplificador (correspondente à segunda saída) são enviados a amplificadores rápidos ORTEC-579 produzindo em cada saída um pulso negativo proporcional à energia e bem marcado em tempo. Associados aos amplificadores rápidos, estão dois discriminadores de fração constante ORTEC-473A, que produzem sinais lógico negativos rápidos, enviados a um conversor de tempo em altura de pulso ORTEC-467. O sinal de saída de um dos discriminadores (start) inicia a contagem de tempo no TPHC e o sinal correspondente a outra saída do discriminador (stop), após ser convenientemente atrasado, comanda a parada da contagem de tempo.

Figura II.2: Diagrama de blocos do arranjo eletrônico das medidas de coincidência



A saída linear do conversor de tempo em altura de pulso gera um espectro de tempo mostrado na figura II.3. Neste espectro, com auxílio de dois analisadores monocanais, um interno ao conversor de tempo (TPHC/SCA) e outro ORTEC-551, são selecionadas duas regiões de mesma largura em tempo, uma, sobre o pico de coincidências totais, e a segunda, devidamente afastada da primeira na região de coincidências acidentais.

O analisador monocanal acoplado ao TPHC seleciona a janela em tempo ao redor do pico (figura II.3), enviando um sinal lógico positivo a uma unidade de coincidência rápida. Esta janela é denominada de coincidências totais.

O analisador monocanal ORTEC-5581(do TSCA), que recebe o pulso do conversor de tempo, seleciona uma segunda janela de mesma largura, porém deslocada do pico (figura II.3), e que corresponde à janela de acidentais. O pulso lógico positivo resultante é, por sua vez, enviado a uma segunda unidade de coincidência.

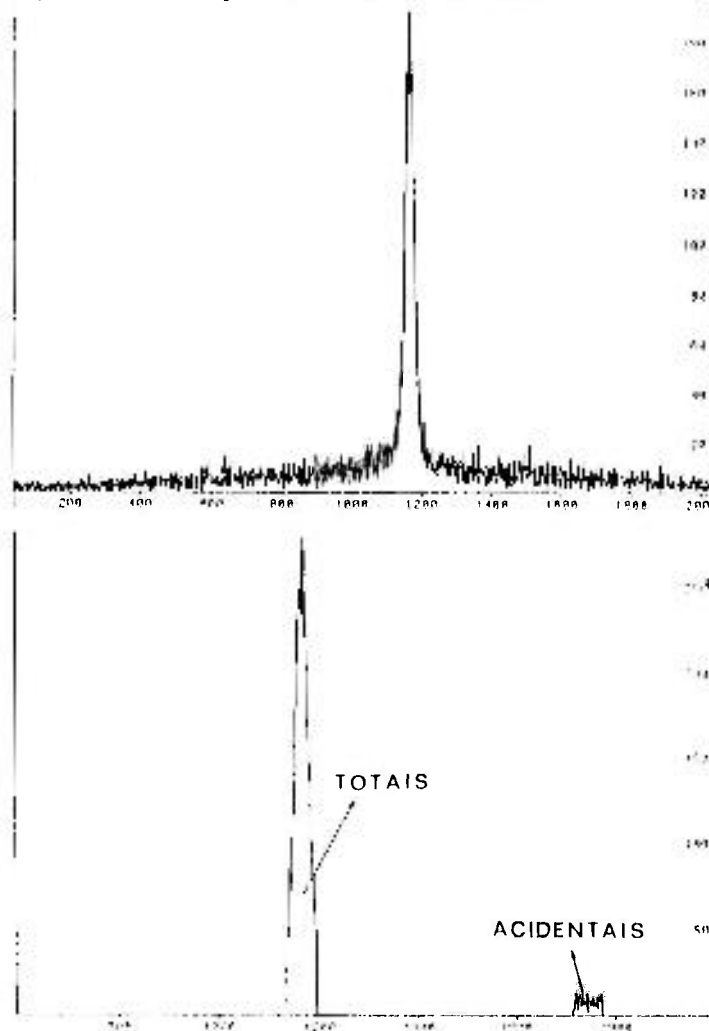
A existência ou não da coincidência é feita através dos cinco sinais que chegam em cada uma das unidades de coincidência.

Os sinais das unidades de coincidência, totais e acidentais, são enviados a um circuito sincronizador biparamétrico, SINC-BIP[5], que controla a operação dos conversores analógicos-digitais (CAD) associados a cada detetor. O SINC-BIP[5] está conectado a um sistema CAMAC de aquisição de dados e ao computador PDP 11/84 do Laboratório do Acelerador Linear através de um microprocessador MBD11.

Quando existe uma coincidência a ser registrada, este sistema transfere para o computador uma informação composta de 24 bits, sendo 12 de um dos conversores, 11 do outro e 1 bit indica se a coincidência foi total ou acidental.

Programas de aquisição no computador permitem iniciar uma seqüência de medidas por tempo pré-determinado. Os dados obtidos são armazenados na memória do computador em modo fila.

Figura II.3: Espectro em tempo da eletrônica de coincidência



II.3. Técnica experimental

Neste item, é feita a descrição da técnica utilizada para obtenção das fontes radiativas de ^{72}Ga , bem como o procedimento da obtenção e análise dos espectros biparamétricos.

II.3.1. Preparação da fonte de ^{72}Ga para medidas de coincidências $\gamma\gamma$

A forma de obtenção das fontes radiativas utilizadas na tomada de dados de coincidência é a mesma utilizada na medida de espectroscopia- γ , descrita em I.3.1. A única diferença é em relação ao tempo de irradiação que passa a ser menor, 3 minutos, pois a fonte nesta medida é posicionada no espectrômetro de coincidências a uma distância de 6 cm dos detetores.

II.3.2. Aquisição de dados em modo biparamétrico

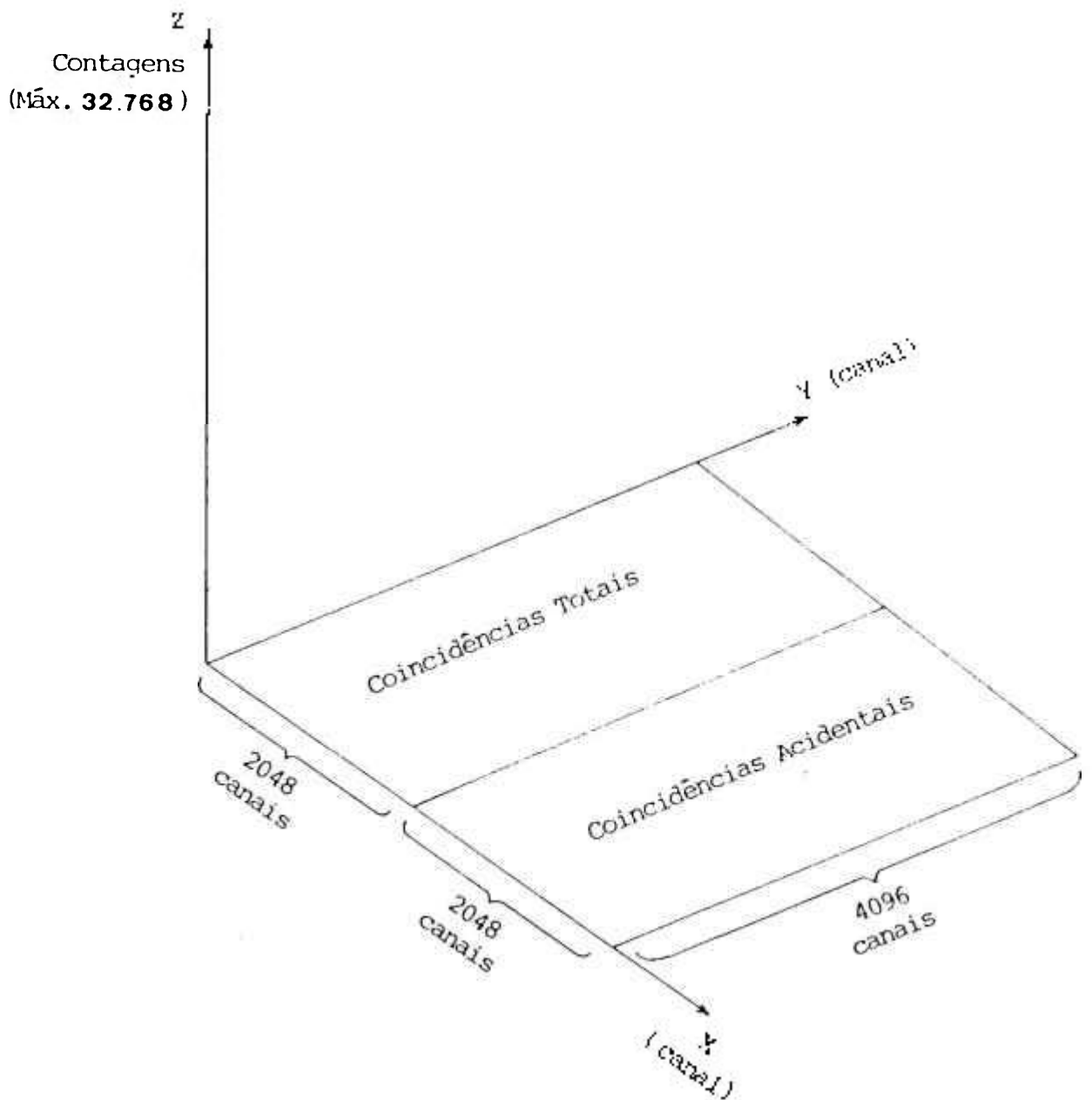
Os eventos de coincidência dizem respeito à aquisição de transições γ em cascata provenientes do mesmo núcleo, tomadas por dois detetores simultaneamente. Na aquisição biparamétrica, estes eventos são tomados em forma de uma tríade XYZ, como mostra a figura II.4, onde X é a transição γ tomada por um dos detetores, o Ge(Li), Y é a transição γ tomada pelo outro detetor, o HPGe, que está em cascata com X, e Z é o número de eventos de coincidência registrados durante o tempo de medida.

As medidas de coincidências foram realizadas no espectrômetro descrito em II.2.1. O registro dos dados, em modo biparamétrico [12], foi feito com 4096 canais para o HPGe e 2048 canais para o Ge(Li), abrangendo energias de 130 keV a 3900 keV.

Nestas medidas, o registro de coincidências acidentais é feito simultaneamente com as coincidências totais.

As informações de cada detetor, bem como a informação sobre o caráter da coincidência (total ou acidental), foram acumuladas no computador PDP 11/84 e transferidos para o computador VAX 6330. Em seguida, foi efetuada a histogramação dos dados com auxílio do programa MBP [13] que possibilita a montagem da matriz de coincidência XYZ (figura II.4). Foram gerados, desta forma, 91 espectros bidimensionais de 4096 por (2048 + 2048) canais de $\approx 6 \times 10^4$ contagens, cada um com 2 horas de contagem, totalizando 182 horas de aquisição.

Figura II.4 Matriz de coincidência (2048 +2048) canais x 4096 canais x contagens



II.4. Análise dos dados de coincidências

A análise dos espectros de coincidência foi efetuada com auxílio do programa PANORAMIX [14] que permite discriminar cada transição γ (fatiar o espectro do eixo Y), descontar desta transição os eventos acidentais e mostrar o espectro- γ coincidente com a transição γ discriminada. Desta forma, foram analisados os espectros de coincidência gerados por 87 transições γ , identificadas nas medidas de espectroscopia simples.

II.5. Resultados

II.5.1 Relação de coincidência $\gamma\gamma$

Um sumário dos resultados obtidos na medida de coincidência é apresentado na tabela II.1. A primeira coluna diz respeito à transição γ janelada com o detetor de HPGe de 89 cm³ e a outra coluna diz respeito às respectivas relações de coincidências, observadas com o detetor de Ge(Li) de 60 cm³. Os dados apresentados em negrito dizem respeito às transições γ observadas pela primeira vez.

Tabela II.1: Relações de coincidências $\gamma-\gamma$

Janelas em Energia (keV)	Coincidências $\gamma - \gamma$ (keV - keV)
223	1898
228	1898
289	449, 629, 834, 2201
306	787, 834, 1230, 2201
317	496, 834, 894, 1519, 1680, 2109
336	428, 834, 894, 971
374	449, 834, 1368 , 2116
381	428, 479, 629, 834, 894, 1215, 2109
398	600, 629, 633 , 894
402	629
428	381, 629, 786, 834, 894, 1050, 1464, 1680
449	336, 600, 629, 810, 834, 1163, 1230
479	381, 629, 735, 834, 999
496	786, 834, 894, 1215, 2109
520	786, 1050
570	834

Janelas em Energia (keV)	Coincidências $\gamma - \gamma$ (keV - keV)
587	834, 1291, 1920
600	449, 629, 834, 878, 970, 1032, 1260, 1276, 1390, 1464, 1500, 1613
629	381, 428, 449, 479, 520, 600, 633 , 810, 827 , 834, 861, 878, 924, 938, 970, 999, 1032, 1050, 1163, 1260, 1276, 1291, 1390, 1479 , 1571, 1596, 1613, 1629, 1633 , 1860, 1877, 1990, 2110, 2201, 2214, 2507, 2694
633	1568, 1710
642	834, 2201
735	479, 834, 861, 894, 975
738	960, 1476
786	428, 810, 834, 894, 924, 1163, 1291
810	629, 786, 834, 894, 1050, 1464, 1680, 2514
827	629, 786, 834, 894, 1050
834	289, 336, 381, 428, 449, 478, 496, 520, 587, 600, 629, 642 , 735, 786, 810, 827 , 839 , 861, 878, 894, 924, 939, 970, 999, 1032, 1050, 1163, 1215, 1230, 1260, 1276, 1291, 1361 , 1368 , 1374 , 1390, 1500, 1519, 1567, 1571, 1596, 1629, 1680, 1710, 1837, 1860, 1877, 1920, 2109, 2201, 2214, 2491, 2507, 2621
839	629, 834, 1464
861	629, 735, 834, 894, 999, 1464, 1629
878	381, 600, 629, 834, 1230
894	336, 381, 428, 735, 786, 810, 827 , 834, 861, 924, 1215, 1276, 1519, 1596, 1710, 1837, 1898 , 2028
923 + 924	629, 786, 834, 894, 1050, 1464, 1568, 1680, 1710
938 + 939	629, 834, 924, 938, 1464, 1568, 1710, 2402
970	336, 600, 629, 834, 894, 1230, 1464
975	629, 735, 894, 999
999	479, 629, 834, 861, 975, 1464
1032	600, 629, 834, 1230
1037	834, 898 , 1710, 2402
1050	428, 436 , 520, 629, 772, 810, 827 , 834, 924, 1163, 1291, 1464
1163	629, 786, 834, 894, 1050, 1680
1192	1860
1215	381, 496, 834, 894

Janelas em Energia (keV)	Coincidências $\gamma-\gamma$ (keV - keV)
1230	449, 834, 878, 970, 1032, 1260, 1276, 1390, 1613
1260	336, 600, 629, 834, 894, 898 , 1230, 1464
1276	336, 600, 629, 834, 1230, 1464
1291	586, 629, 786, 834, 1050, 1464
1361	1050
1368	894
1390	600, 629, 834, 894, 1230, 1464
1464	449, 600, 810, 861, 878, 938, 970, 999, 1032, 1050, 1260, 1276, 1291, 1571, 1860, 1877, 1991, 2214
1476	738
1479	381, 629, 834
1500	600, 1230
1519	317 , 894
1568	633 , 827 , 834, 923 , 939, 1037
1571	629, 834, 1464
1596	834, 894
1613	600, 629, 834, 1230
1680	428, 810, 834, 924, 1290
1710 + 1711	633 , 642 , 810, 834, 894, 923 , 939, 1037
1821	834
1837	834, 894
1860	629, 834, 1464
1877	629, 834, 1464
1920	587, 834
1991	629, 834, 1464
2028	834, 894
2109	381, 496, 834
2116	142, 374 , 834
2201	289, 633 , 642 , 834
2214	629, 834, 1464
2402	231, 633 , 939
2491	834
2507	834
2514	810, 827
2605	834
2621	223 , 834
2694	629
2785	834
2844	834

Janelas em Energia (keV)	Coincidências $\gamma - \gamma$ (keV - keV)
2940	402, 738
2951	374
2981	834
3035	—
3067	—
3094	231
3338	—

II.5.2. Energias dos níveis do decaimento β^- do ^{72}Ga

O cálculo da energia dos níveis foi feito através das relações de soma das transições γ , observadas com auxílio dos programas Esquema e Níveis (Apêndice), levando-se em consideração a energia de recuo do núcleo. A tabela II.2 apresenta os valores das energias dos níveis obtidos neste trabalho.

Tabela II.2: Valores das energias dos níveis do decaimento β^- do ^{72}Ga , obtido no presente estudo

Energia (keV)	Energia (keV)
691,514 \pm 0,019	3067,42 \pm 0,11
834,133 \pm 0,008	3094,155 \pm 0,027
1464,121 \pm 0,009	3097,173 \pm 0,022
1728,430 \pm 0,011	3247,74 \pm 0,07
2065,077 \pm 0,011	3325,229 \pm 0,013
2303,168 \pm 0,016	3338,41 \pm 0,15
2402,291 \pm 0,014	3341,928 \pm 0,014
2464,108 \pm 0,012	3419,98 \pm 0,19
2514,908 \pm 0,011	3439,657 \pm 0,017
2582,42 \pm 0,06	3455,449 \pm 0,019
2694,54 \pm 0,15	3565,675 \pm 0,023
2754,475 \pm 0,019	3619,978 \pm 0,039
2940,004 \pm 0,022	3678,229 \pm 0,016
2943,569 \pm 0,013	3757,481 \pm 0,028
2950,945 \pm 0,031	3815,52 \pm 0,05
3035,775 \pm 0,013	

O esquema de níveis do ^{72}Ge proposto neste trabalho é apresentado na figura II.5, onde os valores de $\log ft$ foram obtidos da compilação NDS [1] e os dados referentes a spin e paridade das referências [1] e [15], bem como de informações obtidas pelo presente estudo. De acordo com a tabela I.5.4, 98 transições γ observadas neste estudo foram posicionadas no esquema de decaimento em 31 estados excitados.

Figura II.5.a: Esquema de decaimento do ^{72}Ga proposto neste trabalho

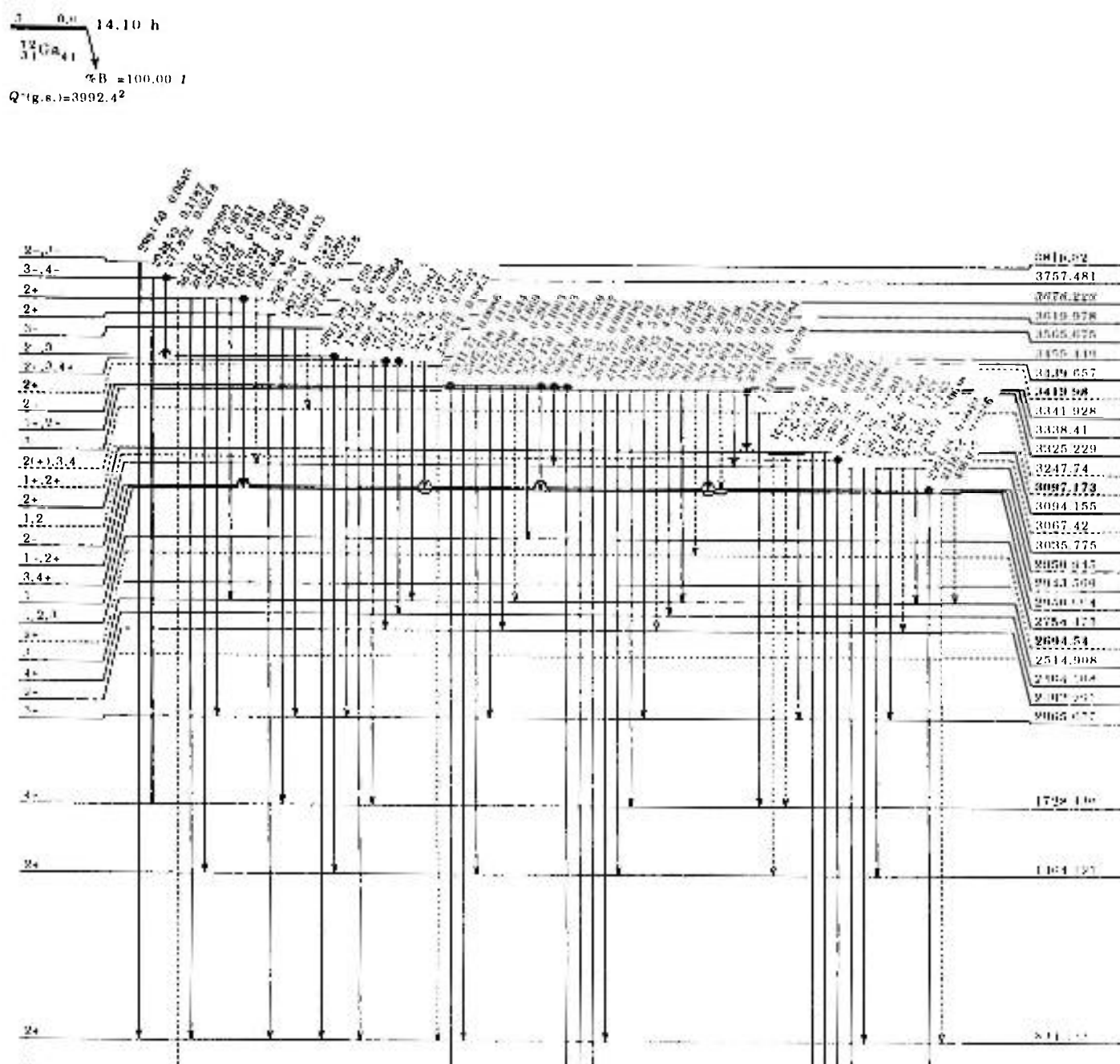
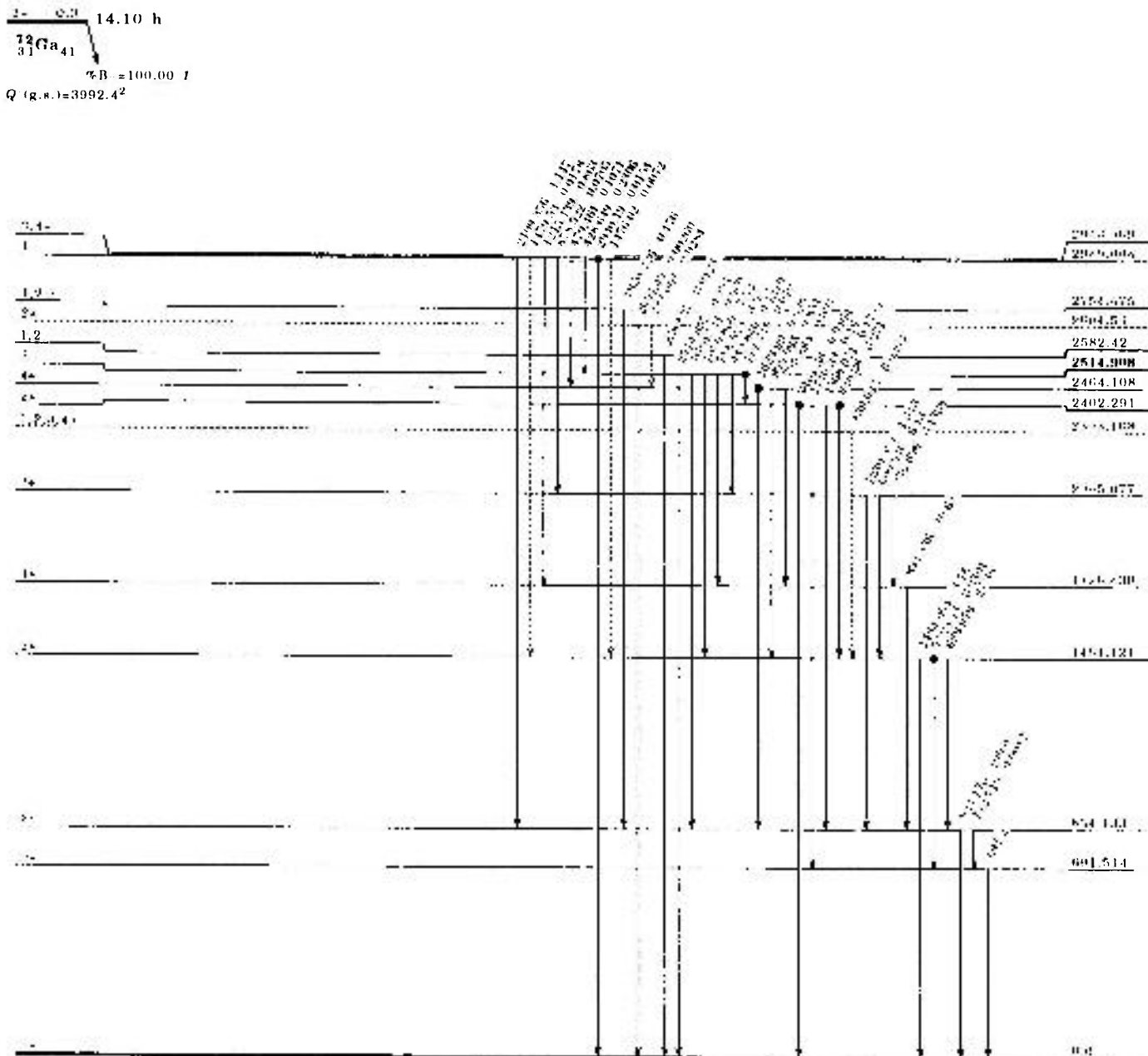


Figura II.5.b Esquema de decaimento do ^{72}Ga proposto neste trabalho (continuação)



II.5.3. Outros resultados

A relação de coincidência entre 374 keV (3325 keV \rightarrow 2950 keV) com 449 keV (2514 keV \rightarrow 2065 keV) (figura III.8), sugere a existência de uma nova transição γ a 436 keV no esquema de decaimento, posicionada no nível a 2950 keV. Esta energia foi observada na janela a 1050 keV, não tendo sido identificada nas medidas de espectroscopia. Desta forma, foram utilizadas as energias dos níveis a $2514,908 \pm 0,011$ keV e $2950,945 \pm 0,031$ keV, obtidas com o programa Esquema e Níveis (Apêndice), para a determinação em energia da transição γ ; obtendo-se $436,037 \pm 0,033$ keV.

Capítulo III

Análise dos resultados

III.1. Introdução

No presente capítulo, serão discutidos os resultados obtidos nas medidas de espectroscopia- γ e coincidência $\gamma\gamma$, com o objetivo de mostrar as contribuições deste estudo para melhor compreensão da estrutura do núcleo de ^{72}Ge . Para tanto, foi feita uma comparação das condições de medidas em que os estudos mais recentes [3,4] foram realizados juntamente com as condições do presente trabalho. Estas informações foram sintetizadas nas tabelas III.1 e III.2. Além disso, será utilizado nesta análise o esquema de decaimento do ^{72}Ga , apresentado na compilação de dados do NDS [1], como mostra a figura III.1, pois baseia-se principalmente nesses dois últimos estudos citados, a saber: Camp [3] e Rester e outros [4].

Figura III.1.a: Esquema de decaimento do ^{72}Ga proposto pelo NDS [1]

A = 72 DRAWING 6, PART 1

NUCLEAR DATA SHEETS

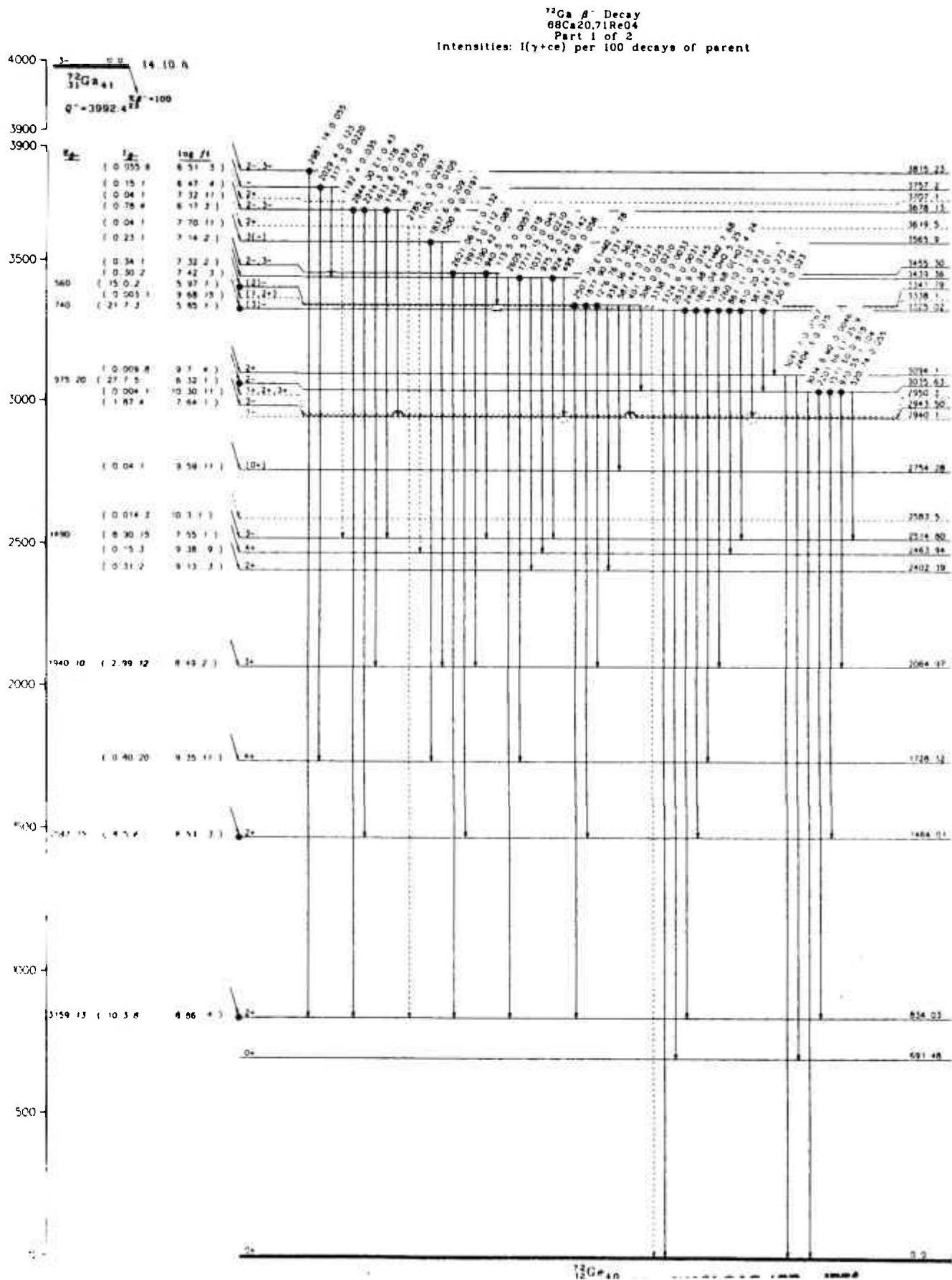


Figura III.1.b: Esquema de decaimento do ^{72}Ga proposto pelo NDS [1] (continuação)

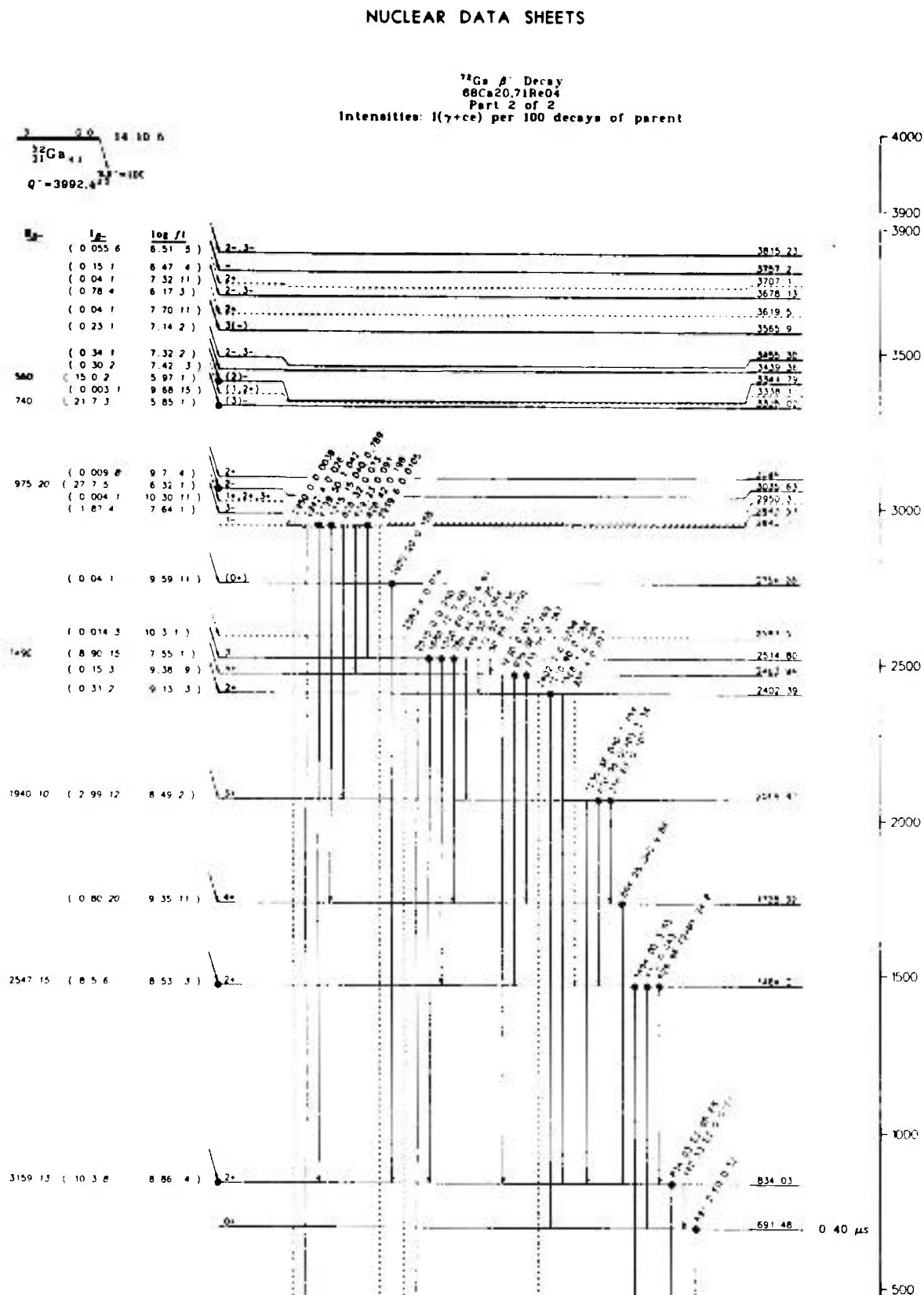


Tabela III.1: Sumário das condições em que os trabalhos anteriores [3,4] de espectroscopia- γ foram realizados, juntamente com as condições deste trabalho

	Camp [3]	Rester [4]	Presente Trabalho
Fonte	Ga_2O_3	GaCl_3 , em solução de HCl	Ga_2O_3
Massa	~ mg	?	10 mg
Pureza química	?	99%	99,9%
* Detetor	*Xray Ge(Li)	*Xray Ge(Li) planar	*HPGe 50cm ³
** Resolução em energia (keV)	**0,4 keV	10 cm ³	**1,8 keV
*** Região de energia estudada	***Baixa energia(intervalo de energia não informado)	**1,0 keV	*** 100 - 3800 keV
	*Compton Suppression NaI(Tl);Ge(Li) 7 cm ³	*Xray Ge(Li) coaxial 15cm ³	
	**2,4 keV	**2,4 keV	
		*** 40 - 150 keV	
		*Ge(Li) coaxial 15cm ³	
		**3,5 keV	
		*Ge(Li) trapezoidal 30 cm ³	
		**2,9 keV	
		***100 - 4000 keV	
Distância fonte-detetor	30 cm	?	25 cm
Absorvedor	-	Lucite	-
Número de canais	4096	4096	8192
Tempo de espera	5 horas	14 horas	2 horas
Tempo de contagem	72 horas para cada fonte Tempo total = ?	14 horas para cada fonte Tempo total = ?	24 horas para cada fonte Tempo total = 207 horas

Tabela III.2: Sumário das condições em que os trabalhos anteriores [3,4] de coincidência $\gamma\gamma$ foram realizados, juntamente com as condições do presente trabalho.

	Camp [3]	Rester e outros [4]	Presente Trabalho
Detetores, Resolução em energia (keV)	Ge(Li) (8cm ³) 2,4 keV NaI(Tl) (3"x3")	Ge(Li) coaxial (15cm ³) - 3,5 keV Ge(Li) trapezoidal (30cm ³) - 2,9 keV	HPGe (89cm ³) 1,98 keV Ge(Li) (60 cm ³) 2,1 keV
Ângulo entre os detetores	180 ^o	90 ^o e 180 ^o	130 ^o
número de canais	a)4096 para as janelas de 630 keV e 834 keV b)1024 para janelas de 1050 keV e 894 keV	4096 x 2048	4096 x 2048
resolução em tempo	?	50 a 90 ns	11 ns
absorvedor	--	1,5cm de Pb e Cd na face dos de- tetores	--
janelas em energia (keV)	4 janelas, com detetor de NaI(Tl), de ~ 20 keV centradas nas energias de: a)630 keV b)834 keV c)894 keV d)1050 keV	26 janelas com detetor de Ge(Li) de 30 cm ³ apresen- tadas na ref [4]	87 janelas com detetor de HPGe apresentadas na tabela II.1

De acordo com as informações contidas na tabela III.1, o presente trabalho utiliza detector de melhor resolução, aquisição em 8192 canais (o dobro das medidas anteriores) e alta estatística, o que favorece as condições de identificação de transições γ de baixa intensidade ($< 10^{-3}\%$), de dubletos e maior precisão na determinação da energia e intensidade destas transições γ .

Da mesma forma, as informações contidas na tabela III.2 mostram que o presente estudo de coincidência foi realizado com melhor resolução em tempo e energia e, devido à possibilidade de análise de cada transição γ isoladamente foi possível a obtenção de 87 janelas em energia, o que corresponde a $\sim 78\%$ das transições γ observadas na medida de espectroscopia, o que levou ao posicionamento da maioria das transições γ no esquema de níveis.

As informações que não foram encontradas nas referências citadas, são apresentadas na tabela pelo símbolo "?".

III.2. Análise das transições γ pertencentes ao decaimento β^- do ^{72}Ga

A análise de cada transição γ identificada no presente estudo será feita através do nível de energia pelo qual se desexcita, levando-se em consideração todas as informações já conhecidas, isto é, spin, paridade e $\log ft$ desses níveis, bem como caráter da transição β e γ quando estabelecidos, relacionadas na referência [1].

Ao estado fundamental do ^{72}Ga foram atribuídos spin e paridade 3^- com alta energia de decaimento β ($Q_{\beta^-} \cong 3992$ keV) [1].

O spin e paridade para o estado fundamental do núcleo de ^{72}Ge é 0^+ , pois trata-se de um núcleo par-par ($Z = 32$, $N = 40$). A ocorrência de $J^{\pi} = 0^+$ [2,16] também para o primeiro estado excitado, que corresponde a 691 keV, foi considerado para análise de dados. A transição γ de 691 keV trata-se de uma linha de conversão interna não tendo sido medida no presente estudo.

Nível 834 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^- do ^{72}Ga , com $\log ft = 8.86$ [1]. Foi bem estudado por decaimento β^- [2,3,4,17,18], bem como por reações nucleares: (t,p) [19], ($\alpha,2n\gamma$) [20] e (p,p') [21]. Todos estes estudos confirmam o spin e a paridade 2^+ . Este nível é estabelecido pela intensa transição γ de 834 keV, de caráter E2, cuja intensidade relativa é suposta 100% e também pelo transição γ de 142 keV. As relações de coincidências obtidas para a transição γ de 834 keV no presente estudo, são apresentadas na tabela II.1 e podem ser visualizadas pela figura III.2. Devido ao grande número de informações que esta transição γ fornece ao esquema de níveis, através dos dados de coincidências, os resultados relevantes serão discutidos posteriormente, nível a nível.

Com relação à transição γ de 142 keV, apesar de não ter sido janelada, as relações de coincidências que envolvem a janela de 2116 keV (figura III.9) condizem com seu posicionamento neste nível.

Figura III.2: Espectro de coincidência parcial da janela em energia a 834 keV

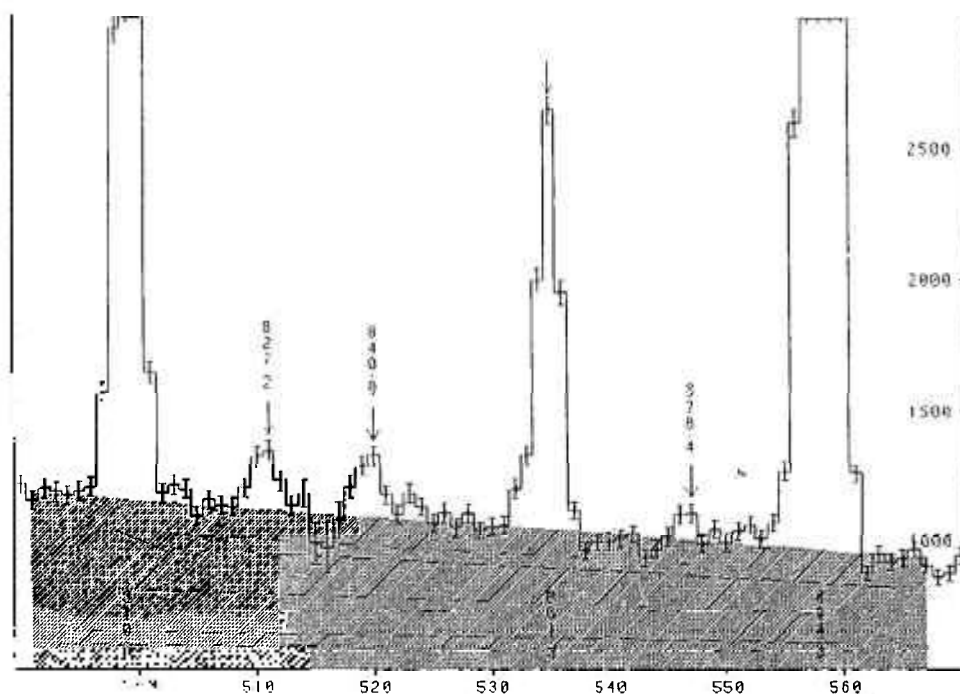
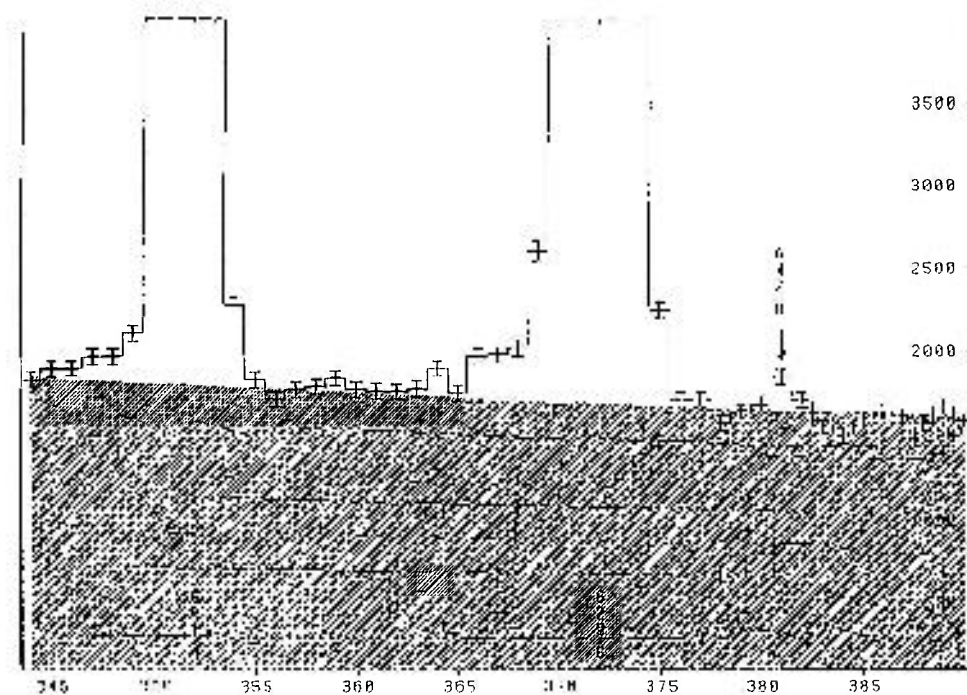


Figura III.2: Continuação

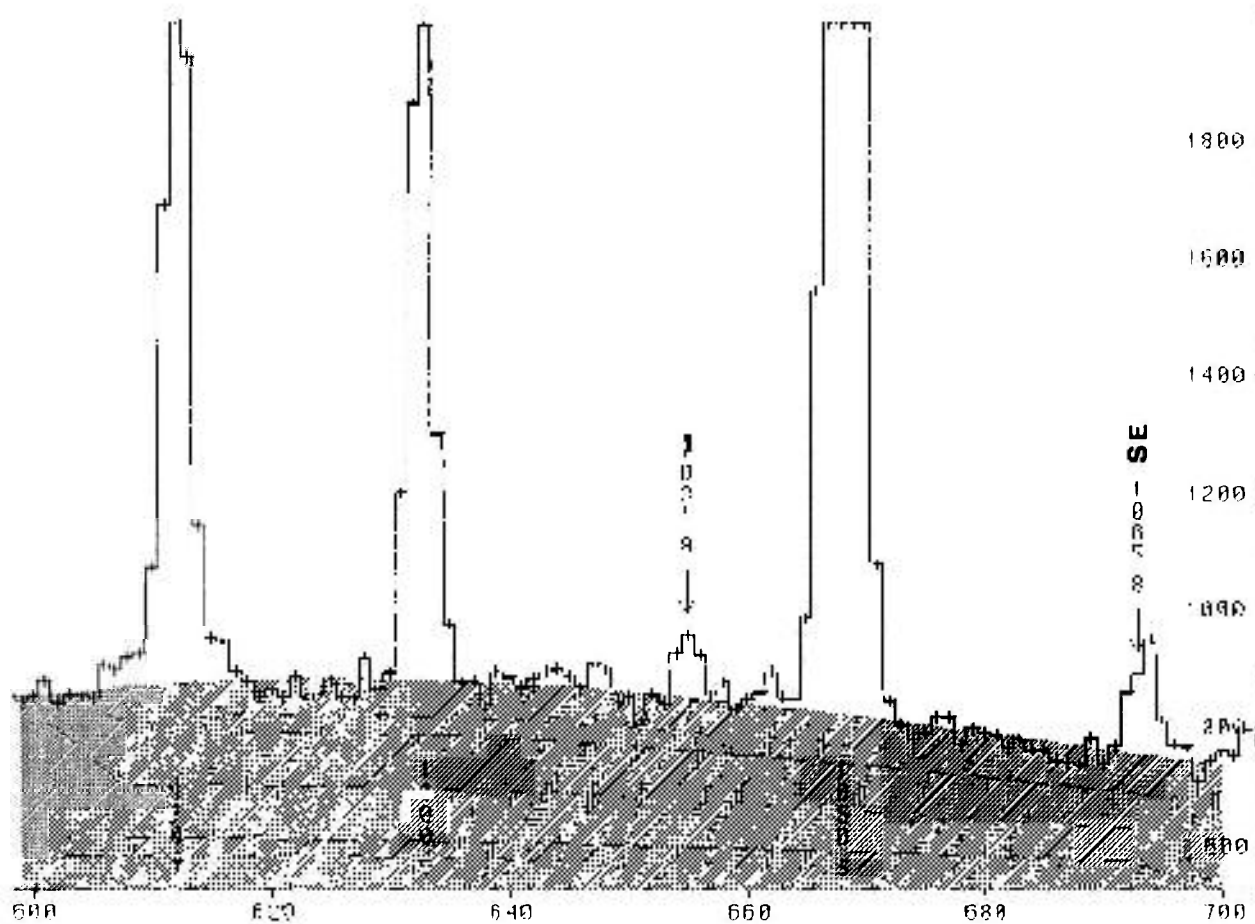
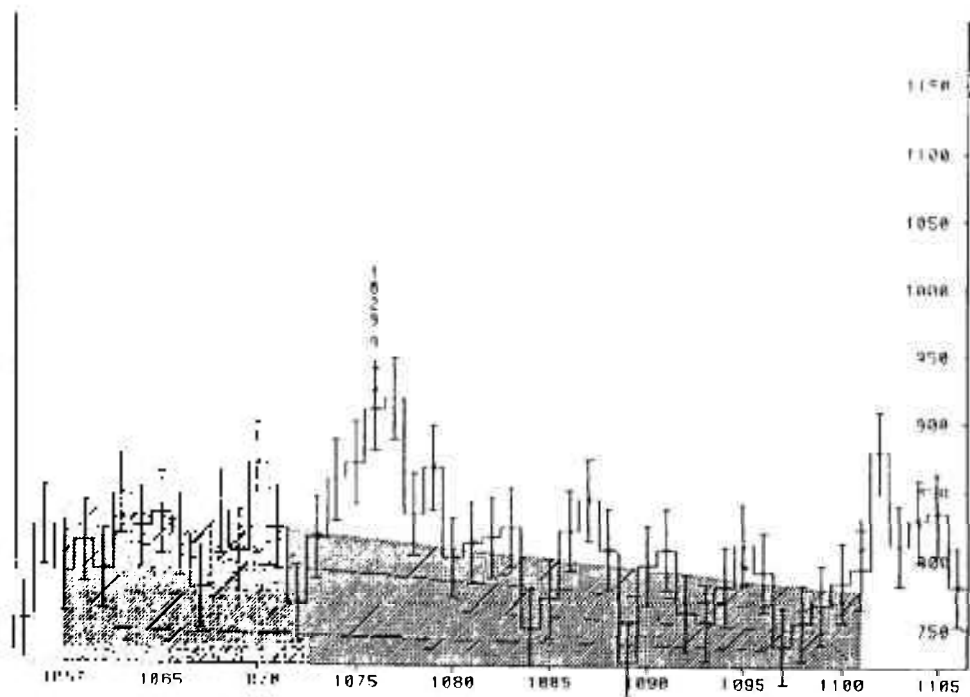
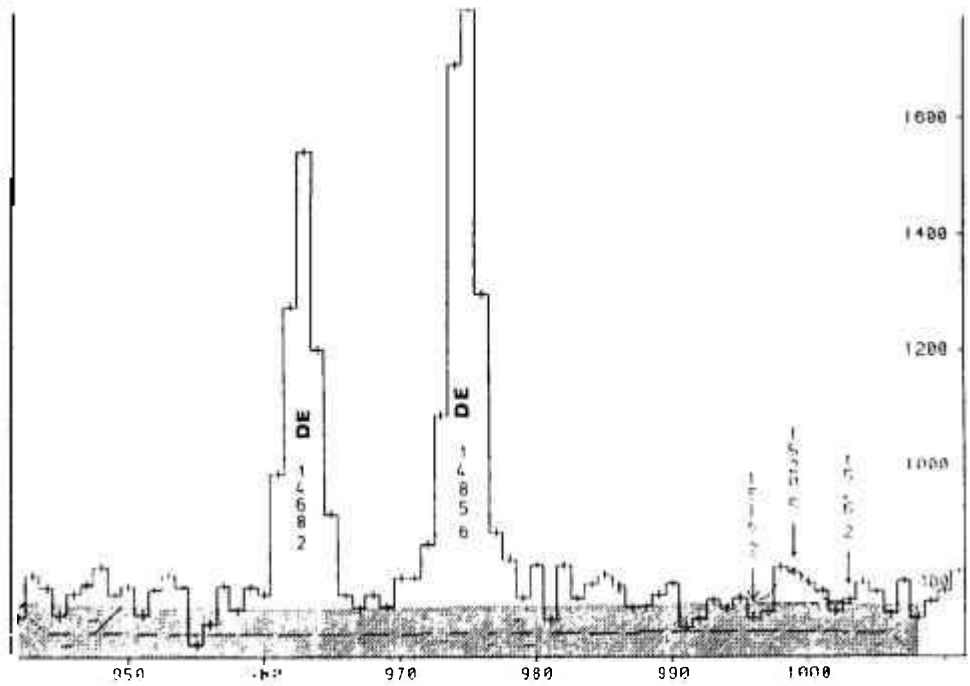


Figura III.2: Continuação



Nível 1464 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^- do ^{72}Ga com $\log ft = 8.53$ [1]. Seu spin e paridade foram inicialmente propostos como sendo 2^+ , por Arns e Wiedenbeck [22], em medidas de correlação angular e confirmado posteriormente por estudos que envolvem outros trabalhos de correlação angular [15,23,24] e reações nucleares [20,25,26,27]. Estudos realizados a partir do decaimento β^+/EC e β^- por Rester e outros [4] e Camp [3], mostram, através de medidas de coincidências, que este nível se desexcita por meio de três transições γ : 629 keV, 772 keV e 1464 keV para o níveis de 834 keV (2^+), 691 keV (0^+) e o fundamental (0^+), respectivamente. No presente trabalho, foram feitas as janelas em energia a 629 keV e 1464 keV, como mostram os dados da tabela II.1, confirmando os resultados já estabelecidos.

As relações de coincidências observadas para a janela a 629 keV mostram além das relações já previstas (tabela II.1) a presença das energias de 633 keV, 827 keV, 1476 keV, 1633 e 2694 keV (figura III.3), que serão analisadas posteriormente.

A transição γ de 772 keV não foi janelada em função de sua baixa intensidade, (0.030%) entretanto, suas relações de coincidências foram obtidas por meio da janela em energia da transição γ de maior intensidade, no caso 1050 keV, como mostra a figura III.15, confirmando assim seu posicionamento no nível em questão.

Para a janela a 1464 keV (figura III.4), observa-se, além das relações já estabelecidas, a presença da transição γ de 1032 keV ainda não posicionada. Este resultado será discutido posteriormente na análise do nível a 3097 keV.

Figura III.3: Espectro de coincidência parcial da janela em energia a 629 keV

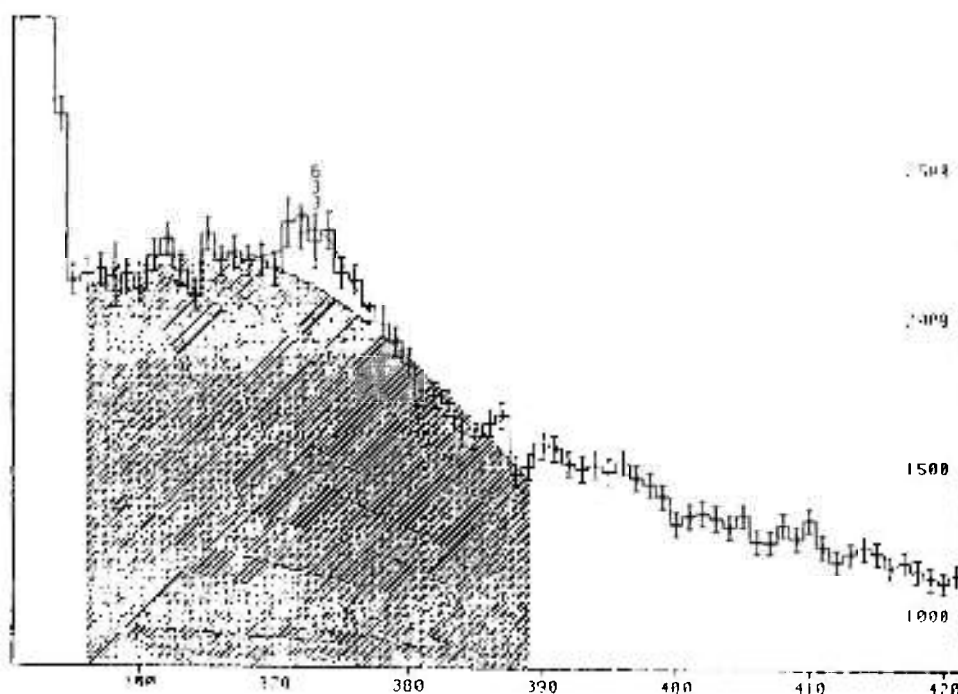


Figura III.3: Continuação

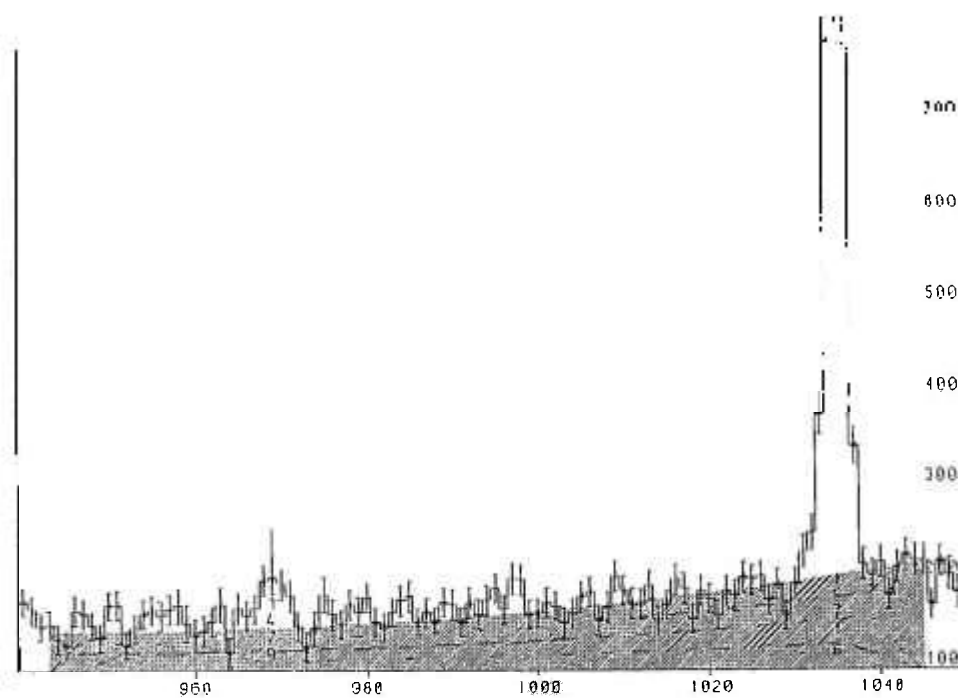
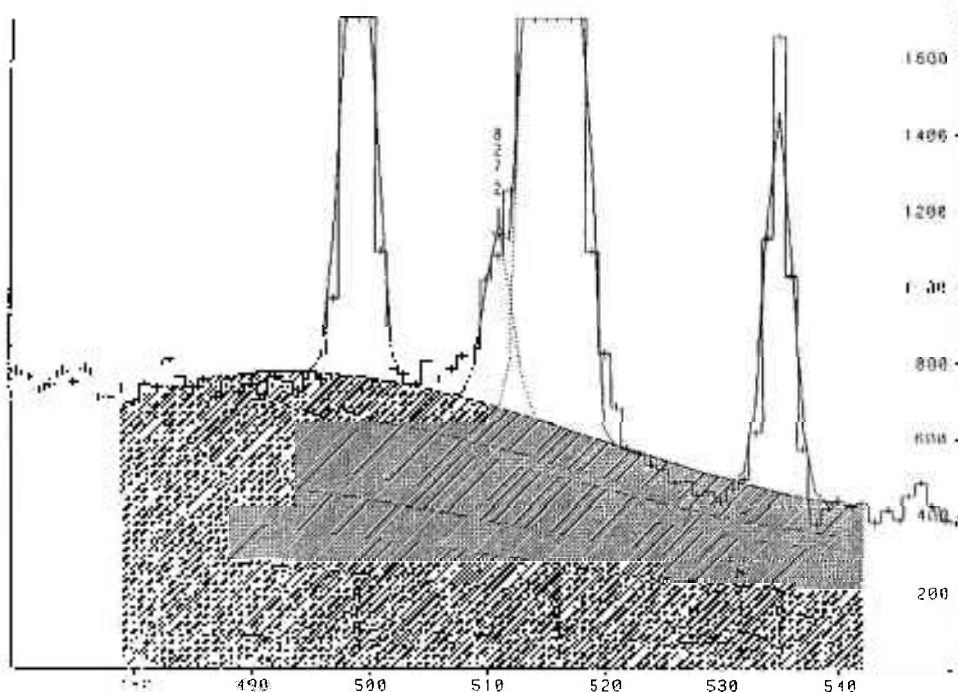


Figura III.3: Continuação

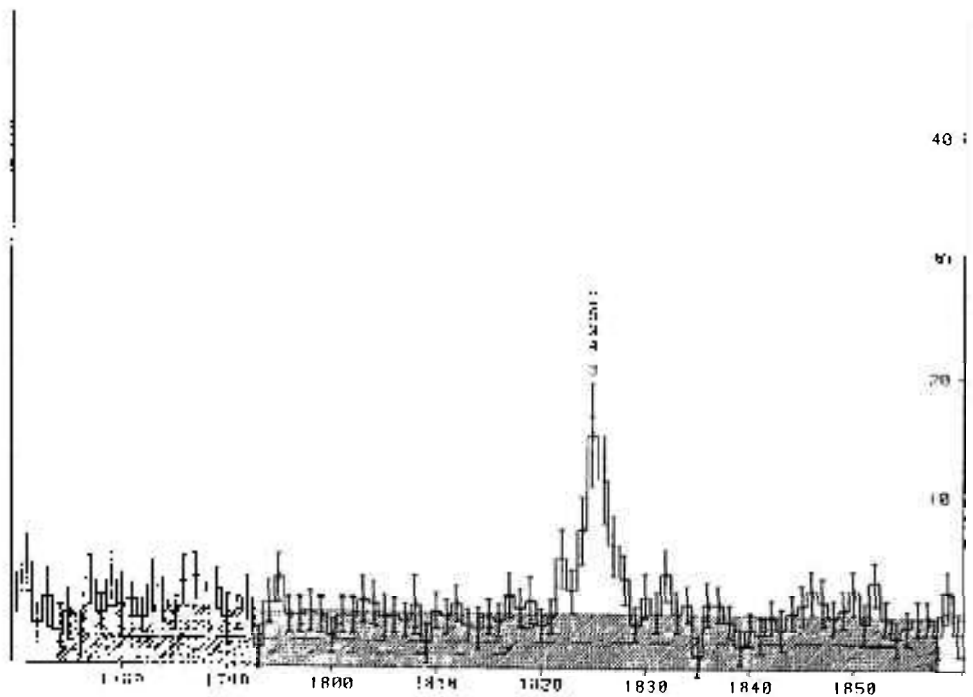
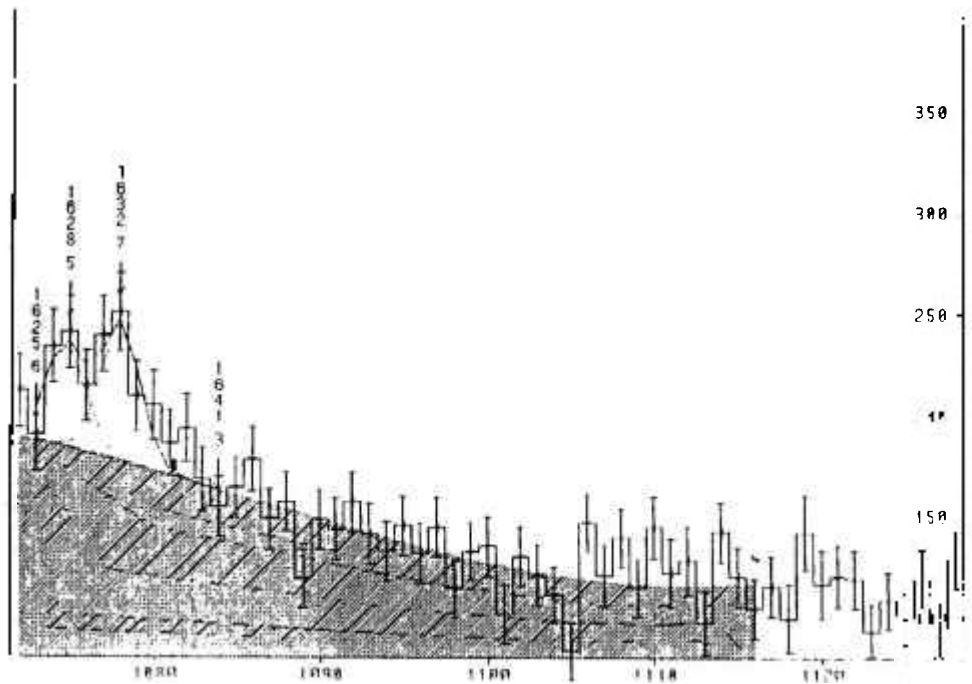


Figura III.4: Espectro de coincidência da janela em energia a 1464 keV

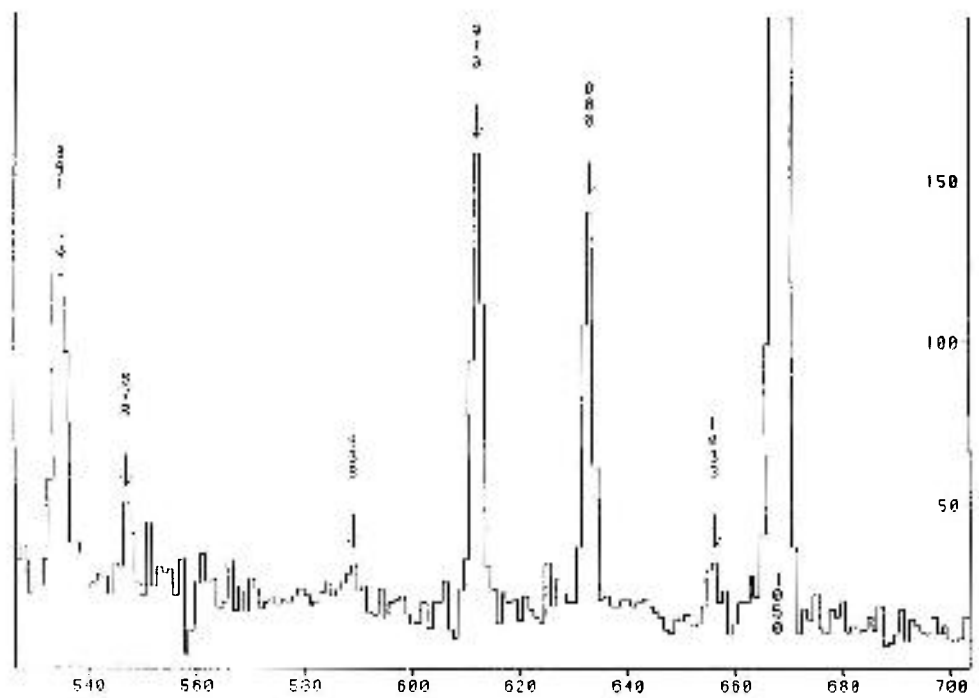
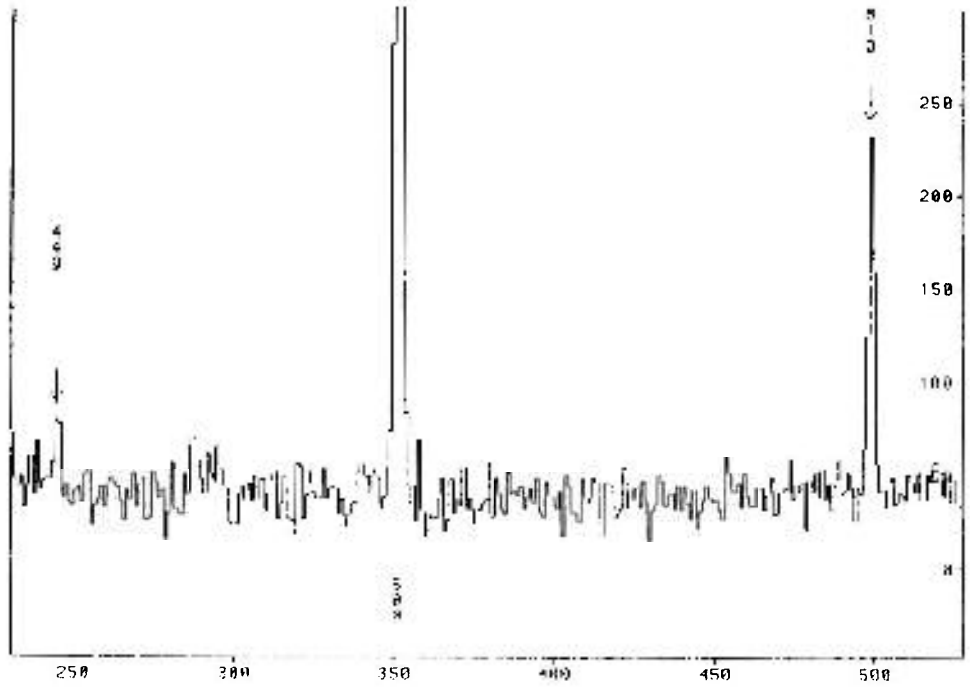
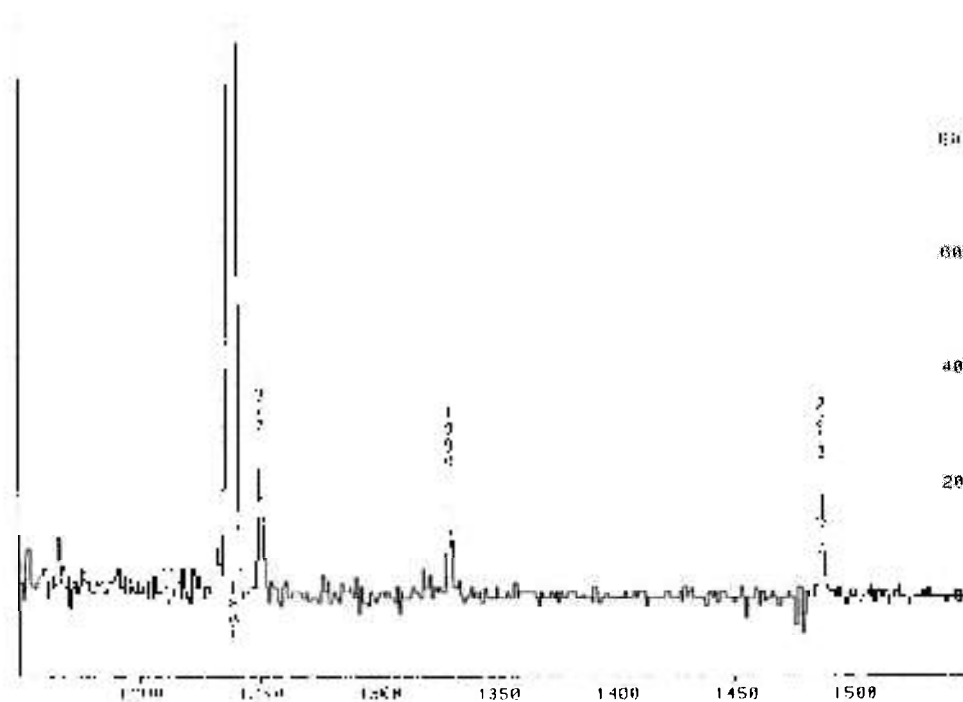
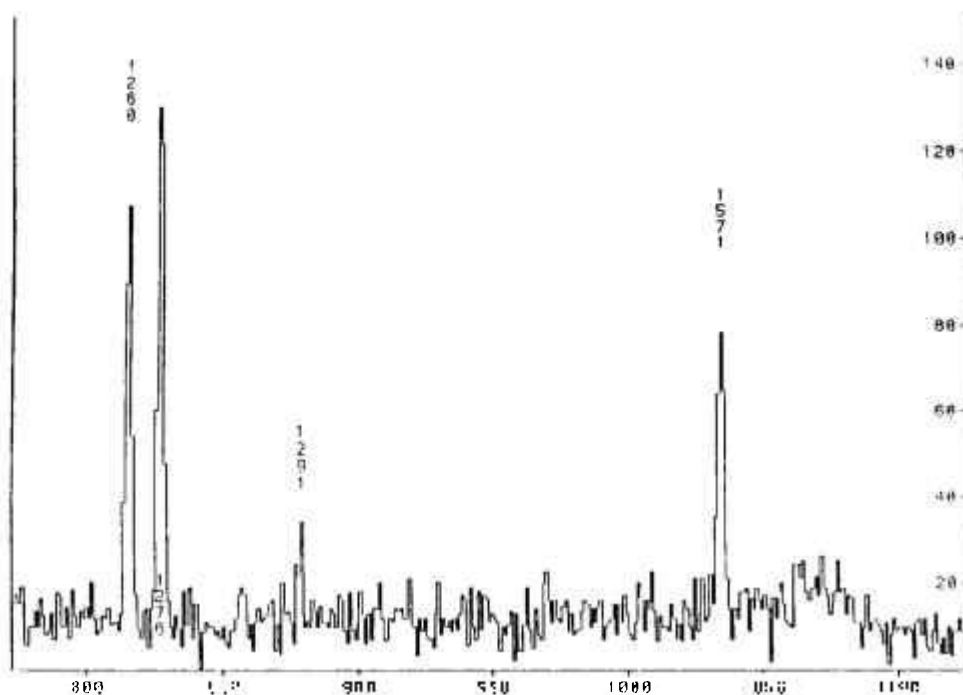


Figura III.4: Continuação



Nível 1728 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^- do ^{72}Ga com $\log ft = 9.35$ [1] e se desexcita pela transição γ de 894 keV para o nível 834 keV (2^+). Seu spin e paridade 4^+ foram propostos a partir de medidas de correlação angular [15,23,24] bem como o caráter puramente E2 da transição γ de 894 keV.

As relações de coincidências observadas neste trabalho, para a janela de 894 keV, são apresentadas na tabela II.1 e além das relações previstas temos a presença das transições γ de 827 keV e 1898 keV, observadas pela primeira vez neste estudo (figura III.5) e que serão discutidas posteriormente.

Figura III.5: Espectro de coincidência da janela em energia a 894 keV

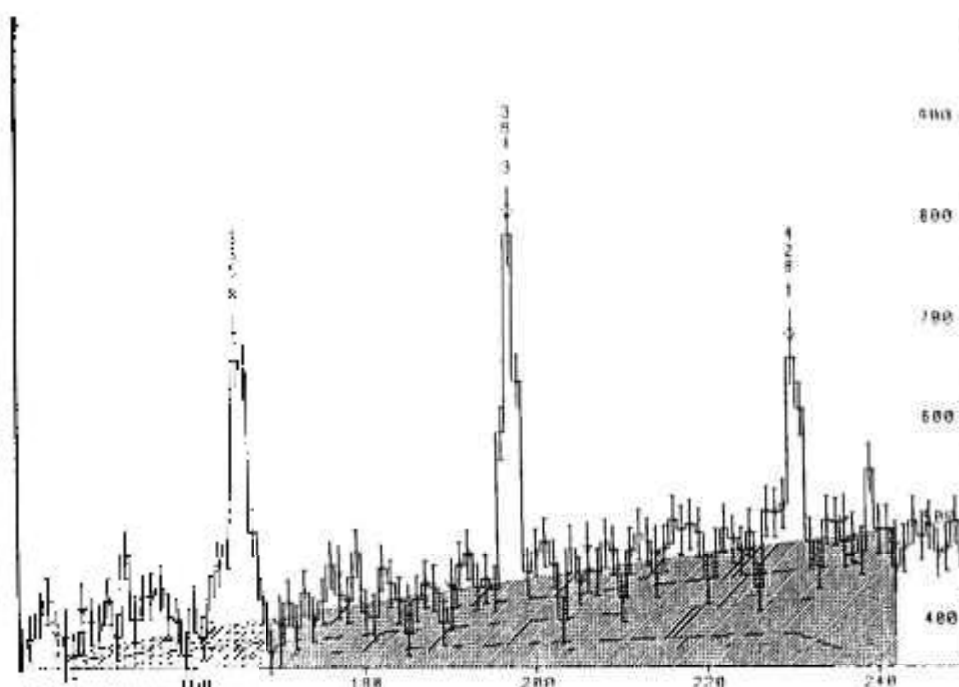


Figura III.5: Continuação

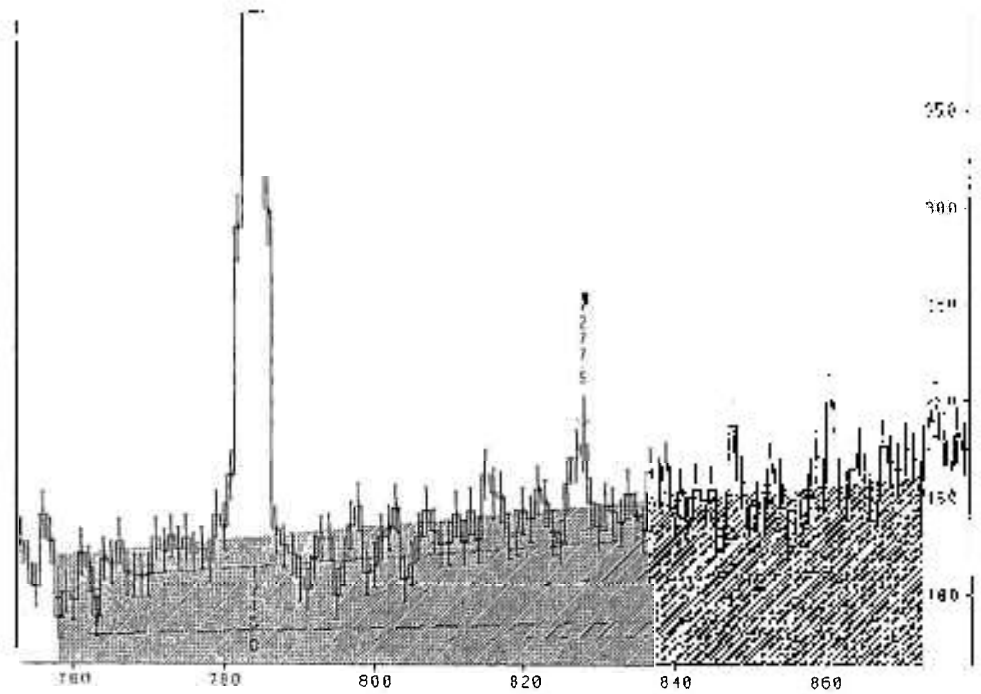
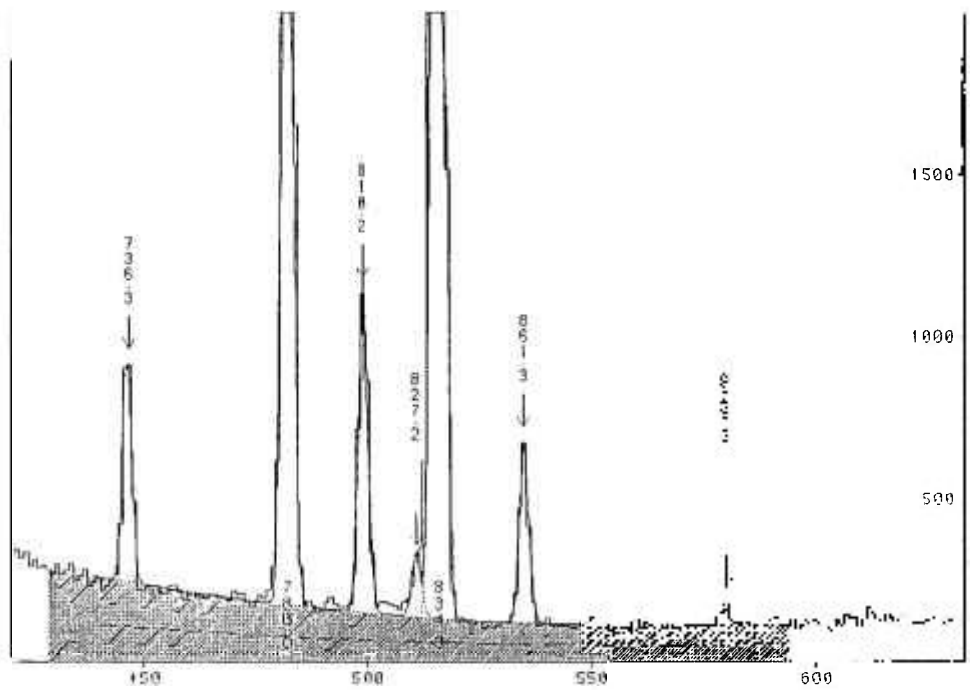
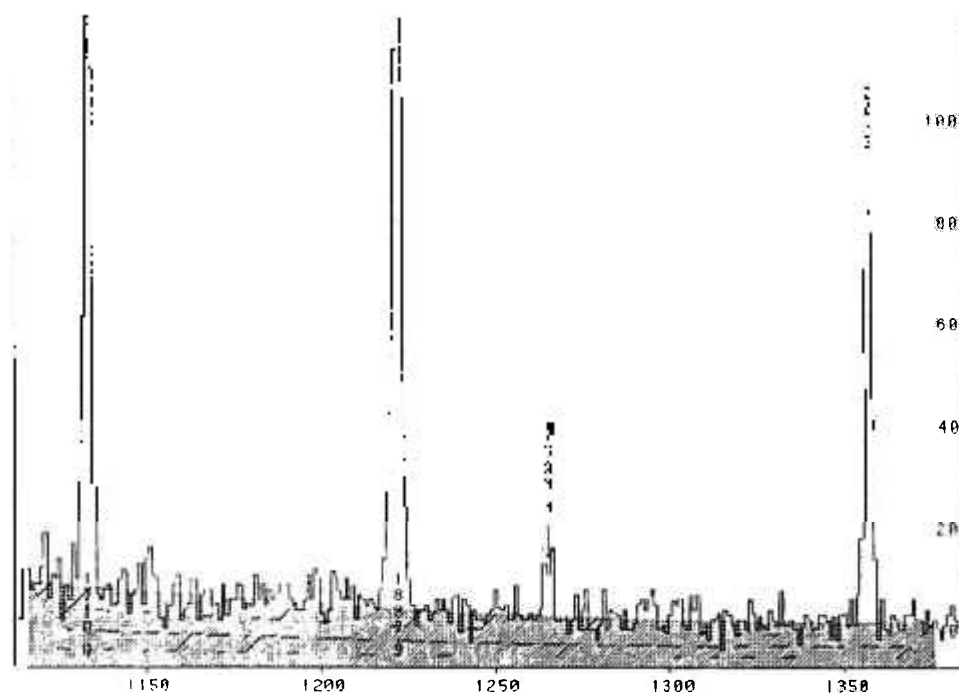
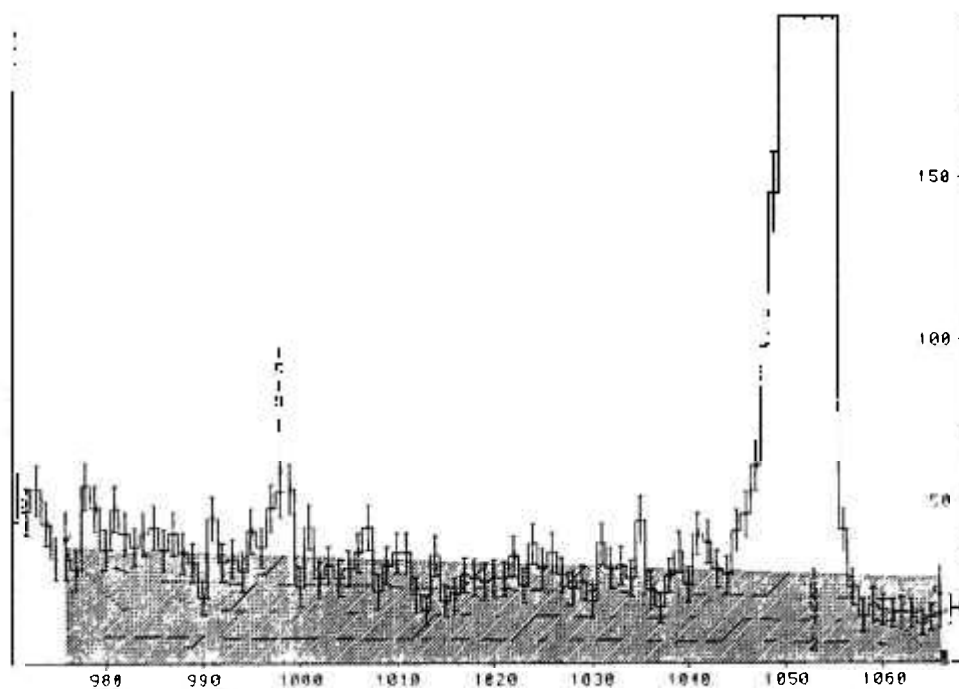


Figura III.5: Continuação



Nível 2065 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^- do ^{72}Ga com $\log ft = 8,49$ [1]. Foi primeiramente sugerido por Kraushaar [2] a partir de estudos envolvendo o decaimento β^- . Posteriormente, medidas de correlação angular realizadas por Chen e outros [23] e Landulfo e outros [15] estabelecem $J^\pi = 3^+$.

Este nível se desexcita pelas transições γ de 336 keV, 600 keV e 1230 keV para os níveis a 1728 keV (4^+), 1464 keV (2^+) e 834 keV (2^+), respectivamente. As relações de coincidências destas transições γ foram analisadas conforme dados apresentados na tabela II.1, e são compatíveis com o esquema de decaimento proposto no NDS. [1].

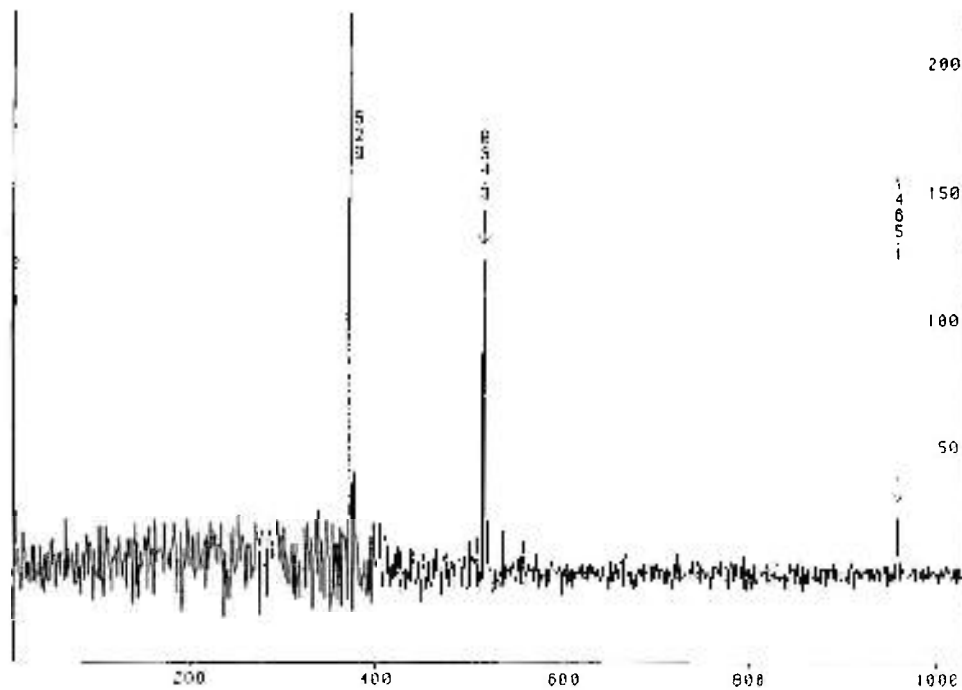
Nível 2303 keV

Este nível está sendo proposto no presente trabalho baseado nas relações de coincidências entre a transição γ de 839 keV com 629 keV, 834 keV e 1464 keV.

No presente estudo, a transição γ de 839 keV foi observada pela primeira vez em medidas de espectroscopia- γ , como mostra a tabela I.5.4. As relações de coincidências, obtidas neste trabalho, para a janela de 839 keV, são apresentadas na tabela II.1 e podem ser visualizadas através do espectro de coincidências gerado, como mostra a figura III.6. Na janela de coincidência da transição γ de 834 keV também foi verificada a presença da transição γ de 839 keV, conforme dados da tabela II.1, sendo compatíveis com o posicionamento da transição γ de 839 keV neste nível (figura III.2).

A possibilidade de indicar o spin e paridade para este nível foi verificada e $J = 1, 2, 3$ e 4 são possíveis, sem restrição quanto a paridade, exceto para $J^\pi = 4^-$ o que sugere um caráter de quadrupolo magnético para a transição γ de 839 keV, o que é pouco favorecido.

Figura III.6: Espectro de coincidência da janela em energia a 839 keV



Nível 2402 keV

Este nível foi primeiramente proposto por Kraushaar e outros [2], com base na observação da transição γ de 1710 keV, que popula o primeiro estado excitado 0^+ . Posteriormente, nas medidas realizadas por Camp [3], além da transição γ de 1710 keV foram propostas também as transições γ de 938 keV, 1568 keV e a transição γ para o estado fundamental, restringindo spin e paridade a 2^+ . Com relação ao trabalho de Rester e outros [4], o mais recente desses estudos, foram confirmadas para este nível somente as transições γ de 1568 keV e 1710 keV.

Os dados obtidos no presente trabalho confirmam a existência das quatro transições γ através das medidas de espectroscopia simples (tabela I.5.4) bem como as relações de coincidências para as transições γ de 1568 keV e 1710 keV (tabela II.1).

Com relação à transição γ de 2402 keV, sugerida por Camp[3], a presença das transições γ de 633 keV e 939 keV na janela a 2402 keV (tabela II.1) confirmam a presença da transição γ para o estado fundamental.

Com relação a transição γ de 938 keV, é possível confirmar seu posicionamento neste nível, devido sua coincidência com 923 keV ($3325 \text{ keV} \rightarrow 2402 \text{ keV}$), conforme dados apresentados na tabela II.1.

Nível 2464 keV

Trabalhos anteriores realizados por Ramayya e outros [28], Camp [3] e Rester e outros [4] estabelecem para este nível as transições γ de 735 keV, 999 keV e 1629 keV sendo que esta última ainda está por ser confirmada pois só foi observada em medidas de espectroscopia- γ , envolvendo o decaimento β^- do ^{72}Ga , realizada por Rester e outros [4]. Um estudo recente de correlação angular [15] envolvendo as cascatas de 735 - (894) - 834 keV e 999 - (629) - 834 keV confirmam o spin e a paridade 4^+ . No presente trabalho, a transição γ de 1629 keV foi observada no espectro simples (tabela I.5.4) e embora esta transição γ não tenha sido janelada, em função de sua baixa intensidade, está presente nas janelas em energia de 834 keV (figura III.2) e de 861 keV (figura III.7), confirmando, assim, seu posicionamento neste nível.

As relações de coincidências das transições γ de 735 keV e 999 keV também foram verificadas conforme dados da tabela II.1 e são compatíveis com o esquema de decaimento proposto pelo NDS [1].

Figura III.7: Espectro de coincidência da janela em energia a 861 keV

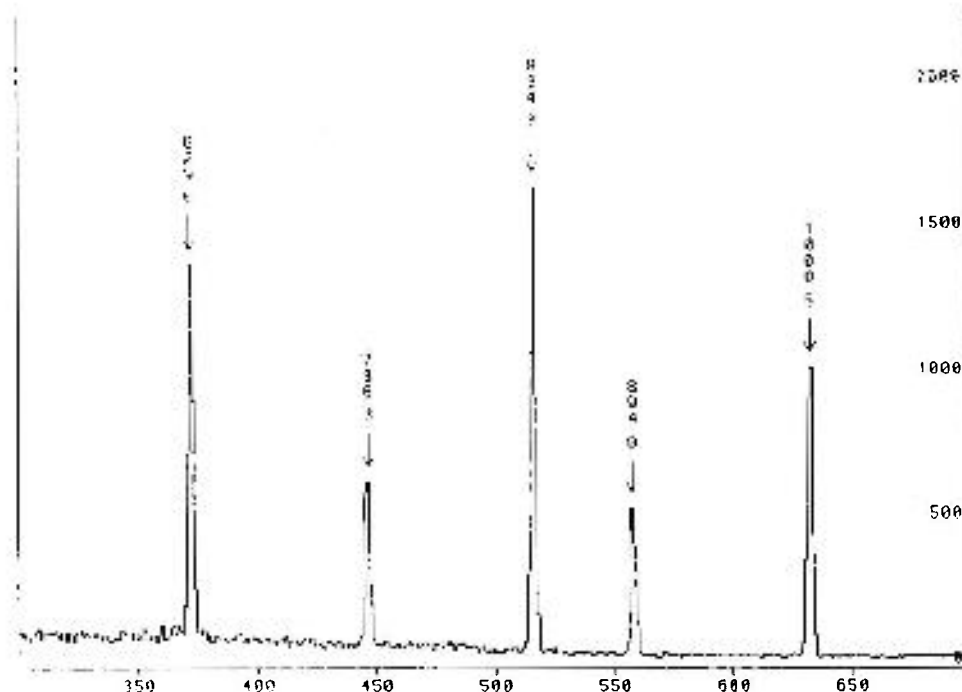
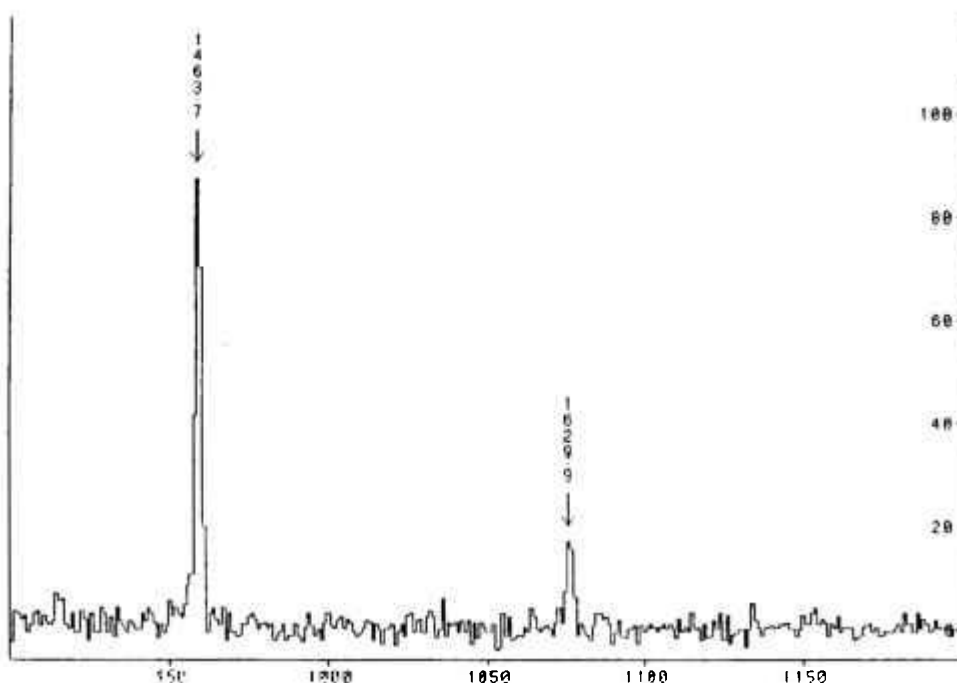


Figura III.7: Continuação



Nível 2514 keV

Este nível tem sido estudado por decaimento β^- [4], decaimento β^+ , captura eletrônica [3,24] e também por reações nucleares [19,20,25,27] e todos os estudos concordam com $J^\pi = 3^-$. Este nível é alimentado pelo decaimento β^- do ^{72}Ga com $\log ft = 7.55$ [1] e se desexcita pelas transições γ de 50 keV, 112 keV, 449 keV, 786 keV, 1050 keV, 1680 keV e 2514 keV para os níveis 2464 keV (4^+), 2065 keV (3^+), 1728 keV (4^+), 1464 keV (2^+), 834 keV (2^+) e fundamental (0^+) respectivamente. Os resultados obtidos neste trabalho confirmam a existência destas transições γ bem como suas relações de coincidências, exceto para a energia de 50 keV, isto porque a faixa de energia medida no presente trabalho abrange energias de 100 keV a 3900 keV. Com relação à transição γ de 112 keV, apesar de não ter sido janelada, a relação de coincidência entre 827 keV com 1568 keV (tabela II.2) sugere a existência do transição γ de 112 keV confirmando, portanto, seu posicionamento no nível em questão.

Nível 2582 keV

A transição γ de 2582 keV foi observada em medidas de espectroscopia- γ , envolvendo o decaimento β^- do ^{72}Ga , por Ottmar [29] (2582 ± 4) keV, Camp [3] $2582,2 \pm 1,2$ keV, Rester e outros [4] $2583,5 \pm 0,4$ keV, bem como no presente trabalho $2582,37 \pm 0,06$ keV. Tanto nesses estudos como nas medidas de coincidências realizadas neste trabalho, a transição γ de 2582 keV

não aparece nas relações de coincidências. A tentativa de Ottmar [29] e de Rester e outros [4] em supor que a transição γ é para o estado fundamental concorda com os resultados obtidos no presente trabalho, entretanto, é necessário a determinação do spin deste nível, que deve ser baixo ($J = 1$ ou 2), para que seja feita a confirmação deste nível.

Nível 2754 keV

Este nível foi primeiramente sugerido por Camp [3] a partir de medidas de espectroscopia simples; posteriormente, Rester e outros [4] obtêm a relação de coincidência entre 834 keV e 1920 keV. O presente estudo confirma o posicionamento da transição γ de 1920 keV neste nível, pelas relações de coincidências observadas nas janelas em energia a 587 keV, 834 keV e 1920 keV, apresentadas na tabela II.1.

Resultados de medidas envolvendo as reações nucleares (t,p) [19,30] e (${}^6\text{Li,d}$) [31] apontam $J^{\pi} = 0^+$ para este nível; entretanto, isto requer um valor muito alto de $\log ft$ (17~19) sugerindo para a transição beta um caráter de terceira proibida. Além disso, estudos envolvendo a reação (${}^3\text{He,d}$), realizados por Ardouin e outros [25] propõem $J = 1, 2, 3$

As possibilidades de spin e paridade sugeridas por Rester e outros [4], Ardouin e outros [25], $J = 1, 2$ e 3 , são condizentes com os resultados obtidos no presente trabalho.

Nível 2940 keV

Este nível foi sugerido por Camp [3], através de estudos envolvendo o decaimento β^- do ${}^{72}\text{Ga}$, não tendo sido observado por Rester e outros [4]. De acordo com a medida de Camp [3], este nível é proposto com base na observação da transição γ para o estado fundamental. No presente estudo, a transição γ de 2940 keV foi observada no espectro simples (tabela I.5.4) e suas relações de coincidências com as energias de 402 keV e 738 keV (tabela II.1) confirmam a existência deste nível.

A transição γ de 1476 keV, observada pela primeira vez no presente trabalho, tanto nas medidas de espectroscopia (tabela I.5.4) como na janela em energia da transição γ de 738 keV, sugere seu posicionamento neste nível. As relações de coincidências observadas neste trabalho, para a janela de 1476 keV, são apresentadas na tabela II.1.

A transição γ de 1476 keV também foi observada em estudos envolvendo o decaimento β^+ do ${}^{72}\text{As}$ [3,11], sendo estabelecida no nível em questão, com atribuição de spin e paridade 1^- .

Nível 2943 keV

Este nível se desexcita pelas transições γ de 428 keV, 479 keV, 878 keV, 1215 keV, e 2109 keV para os níveis 2514 keV (3^-), 2464 keV (4^+), 2065 keV (3^+), 1728 keV (4^+) e 834 keV (2^+) respectivamente. Essas transições γ já foram bem determinadas em estudos anteriores [3,4] e o presente trabalho confirma estes resultados, de acordo com os dados apresentados na tabela II.1

e propõe também para este nível a transição γ de 1479 keV. Medidas de correlação angular realizadas por Monahan e Arns [24] limitam o spin para este nível a 3 ou 4, enquanto estudos envolvendo a reação nuclear $^{70}\text{Ge}(t,p)$ [30,31] sugerem $J = 3$ para o nível a 2946 ± 5 keV.

A transição γ de 1479 keV foi observada, pela primeira vez neste estudo, nas medidas de espectroscopia como mostra a tabela I.5.4. As relações de coincidências com 381 keV, 629 keV e 834 keV (tabela II.1) são compatíveis com seu posicionamento no nível em questão.

A transição γ de 2943 keV observada por Rester e outros [4] em medidas de espectroscopia- γ , envolvendo o decaimento β^- do ^{72}Ga , não foi observada no presente estudo, nem nas medidas de espectroscopia simples, nem nas relações prováveis de coincidências, isto é, com as energias de 381 keV e 496 keV. Desta forma, o spin e paridade igual a 3^- sugerido por Rester e outros [4], com base na transição γ para o fundamental, é questionável. Nossa análise é condizente com as possibilidades de spin sugeridas por Metzger [32], isto é: $J = 3$ ou 4, favorecendo a paridade positiva no caso do spin igual a 4.

Nível 2950 keV

Este nível foi sugerido por Camp [3] com base na observação da transição γ de 2950 keV, identificada no decaimento β^- do ^{72}Ga , com $\log ft = 10,3$. Os resultados obtidos no presente estudo confirmam a existência da transição γ de 2951 keV, através das medidas de espectroscopia (tabela I.5.4) bem como seu posicionamento no esquema de decaimento com base nas medidas de coincidências (tabela II.1) que envolvem a própria janela de 2951 keV. Além disso, este trabalho propõe também para este nível a transições γ de 2116 keV.

A transição γ de 2116 keV foi observada pela primeira vez neste trabalho nas seguintes situações:

- i) na medida de espectroscopia simples, tabela I.5.4.
- ii) na janela em energia da transição γ de 374 keV, tabela II.2, figura III.8

O espectro de coincidência obtido para a transição γ de 2116 keV, neste trabalho onde são observadas as transições γ de 142 keV, 374 keV e 834 keV, como mostra a figura III.9, confirma seu posicionamento no nível em questão.

A transição γ de 2116 keV foi observada em estudos anteriores em medidas de espectroscopia- γ , através do decaimento β^+ do ^{72}As [3,11], sem ser posicionada.

A transição γ de 436 keV, apesar de não identificada na medida de espectroscopia simples, foi observada pela primeira vez neste estudo, através das relações de coincidências que envolvem a janela de 1050 keV (tabela II.2) e é condizente com seu posicionamento em 2951 keV.

Desta forma, as possibilidades de spin e paridade 1^- e 2^+ para o nível a 2950 keV são favorecidas.

Figura III.8: Espectro de coincidência da janela em energia a 374 keV

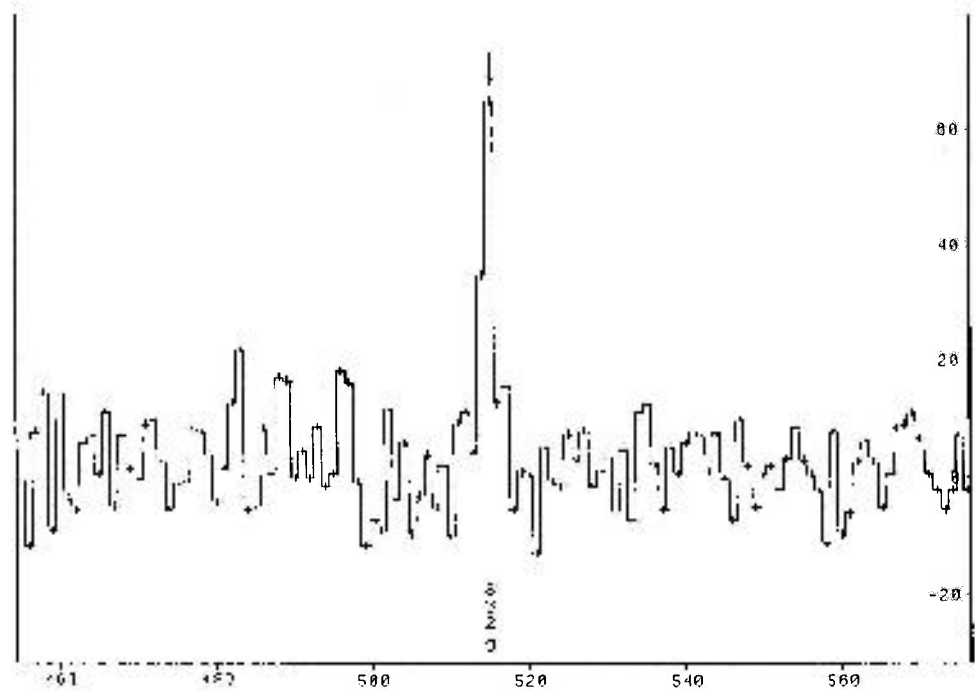
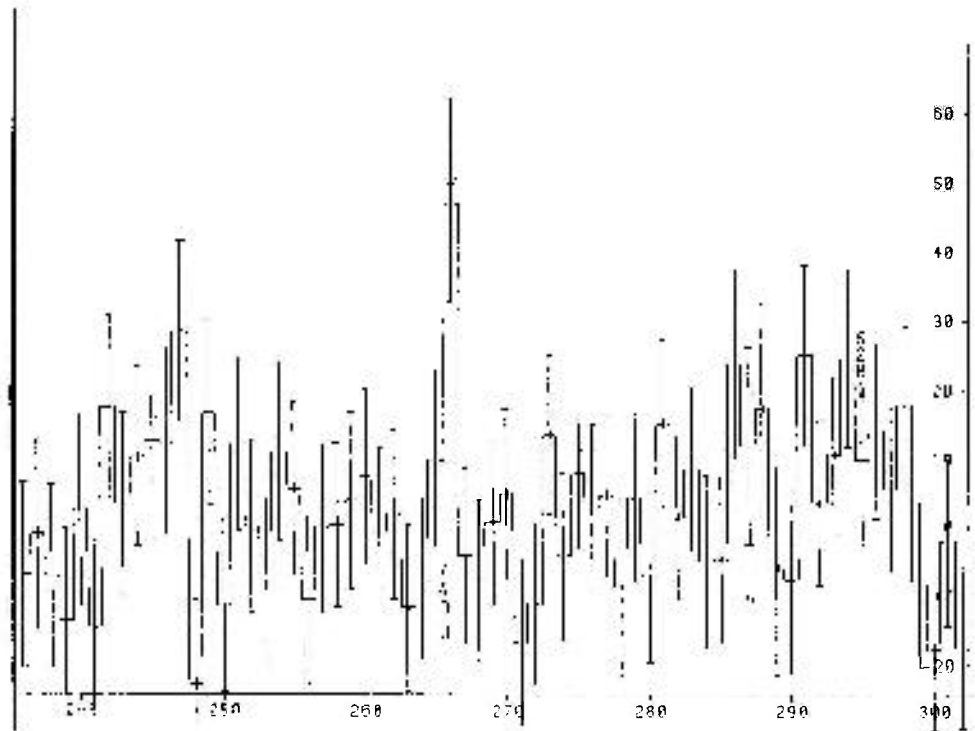


Figura III.8: Continuação

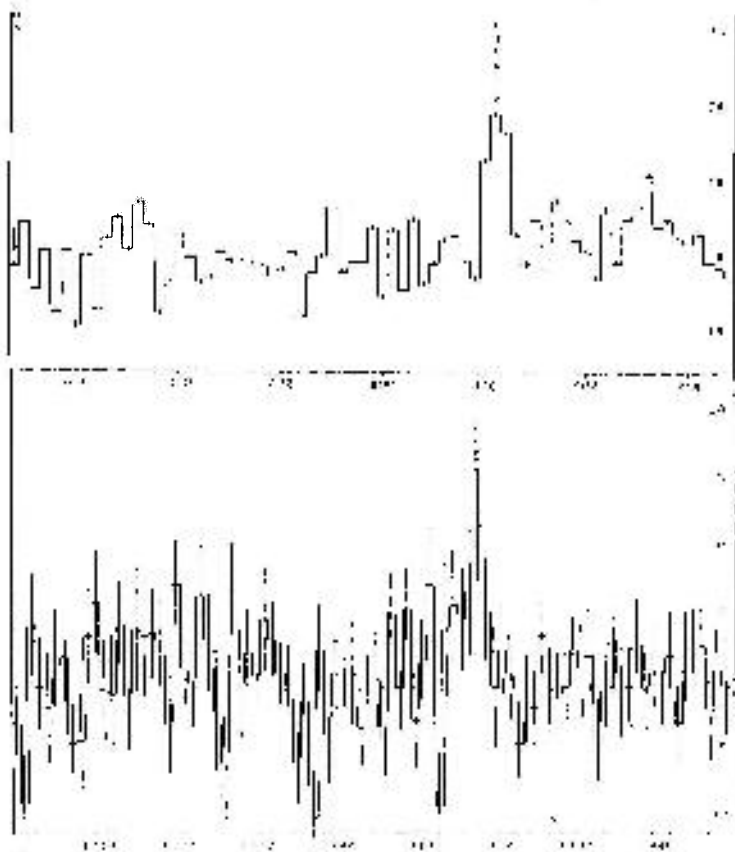
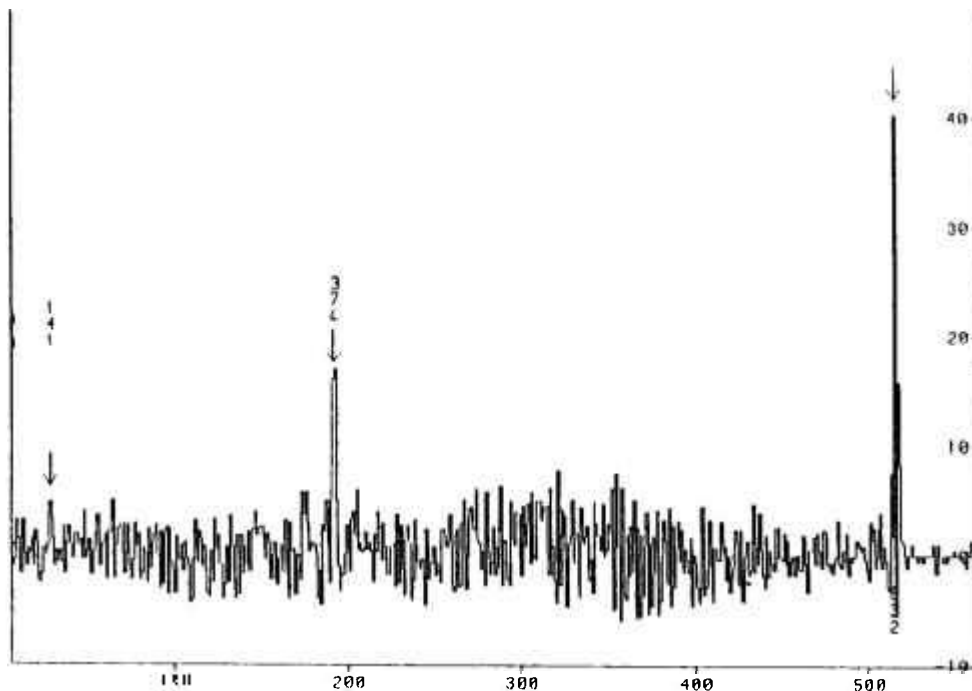


Figura III.9: Espectro de coincidência da janela em energia a 2116 keV



Nível 3035 keV

Este nível se desexcita pelas transições γ de 520 keV, 970 keV, 1571 keV, 2201 keV e 3035 keV para os níveis 2514 keV (3^-), 2065 keV (3^+), 1464 keV (2^+), 834 keV (2^+) e fundamental (0^+) respectivamente. A desexcitação pela transição γ de 2201 keV, cuja intensidade relativa é alta, $28,2 \pm 0,05$, permitiu que um grande número de trabalhos experimentais envolvesse este nível. É o caso das medidas de correlação angular [15,22,24] para a cascata de 2201 keV-834 keV que propõem $J^\pi = 2^-$.

As coincidências $\gamma\gamma$ obtidas neste trabalho, conforme dados da tabela II.1, são compatíveis com o esquema de decaimento proposto pelo NDS [1] e propõem também para este nível a transição γ de 633 keV.

A transição γ de 633 keV foi observada pela primeira vez neste estudo em medidas de espectroscopia- γ como mostra a tabela I.5.4 e os seguintes espectros de coincidência confirmam sua existência:

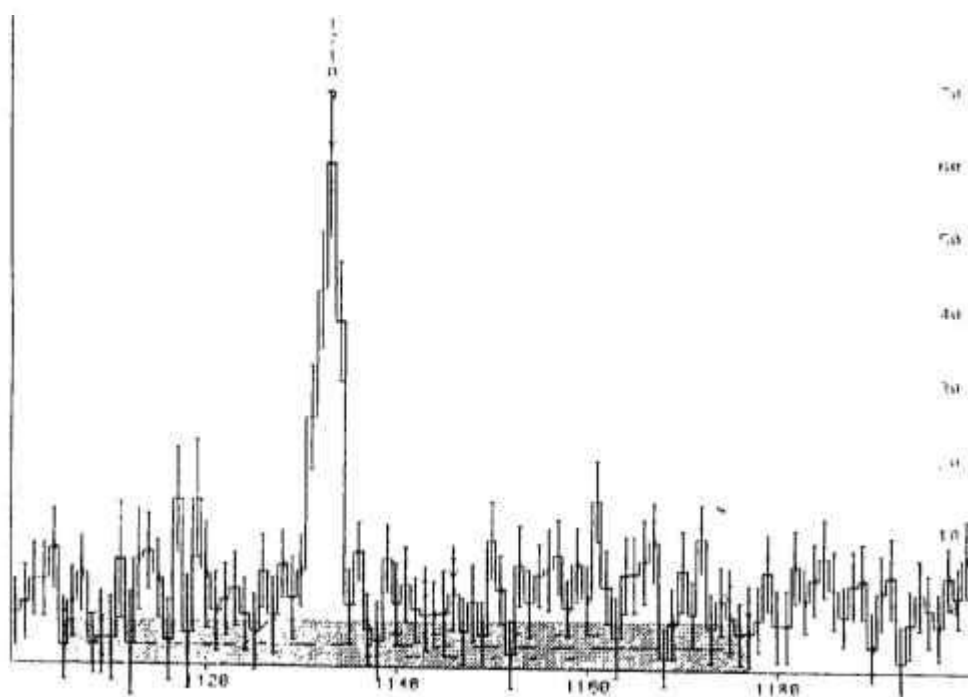
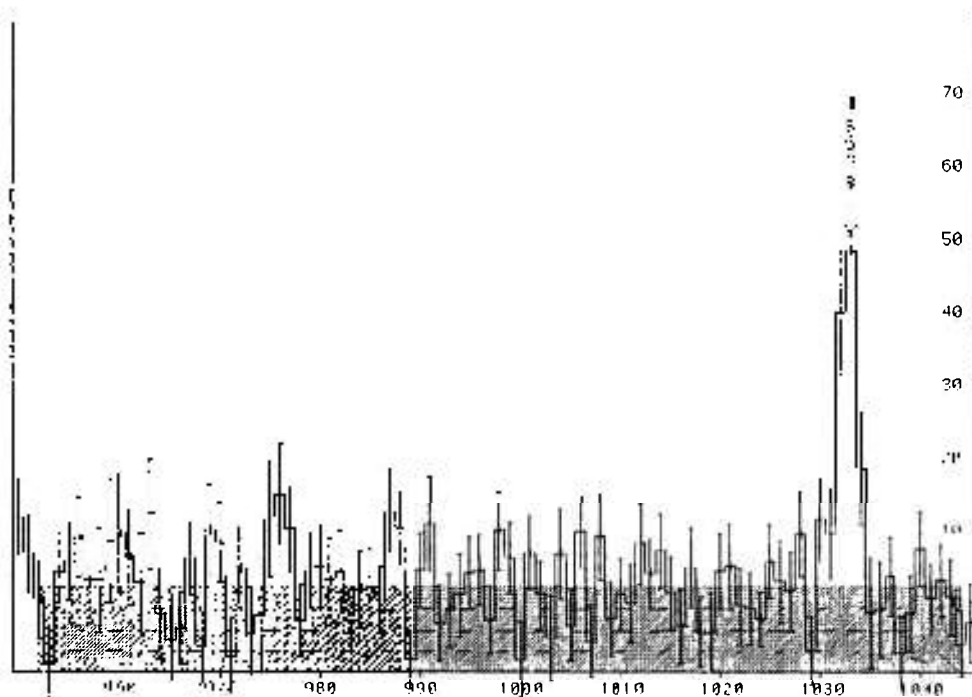
- a) janela em 629 keV
- b) janela em 1568 keV
- c) janela em 1710 keV
- d) janela em 2201 keV
- e) janela em 2402 keV
- f) janela em 398 keV

como mostram os dados apresentados na tabela II.1.

As coincidências $\gamma\gamma$ obtidas neste trabalho, para a janela de 633 keV, são apresentadas na tabela II.1 e podem ser observadas através do espectro de coincidências gerado como mostra a figura III.10.

O spin e paridade 2^- deste nível sugerem para transição de 633 keV ($2^- \rightarrow 2^+$) um caráter predominante de dipolo elétrico.

Figura III.10: Espectro de coincidência da janela em energia a 633 keV



Nível 3067 keV

Este nível está sendo proposto com base na presença da transição γ de 3067 keV, observada no espectro direto (tabela I.5.4), bem como nos resultados obtidos nas medidas de coincidências $\gamma\gamma$, para a janela de 3067 keV, onde nenhuma relação foi observada (tabela II.1). A existência da transição γ para o estado fundamental sugere para o nível em questão os spins mais baixos ($J=1,2$).

Nível 3094 keV

Foi sugerido por Camp [3] com base na observação das transições γ para o estado fundamental e para o primeiro estado excitado 0^+ , com $J^\pi = 2^+$. Estudos posteriores, realizados a partir do decaimento β^- por Rester e outros [4], confirmam a existência da transição γ de 3094 keV; entretanto, a energia da transição γ que deveria se desexcitar para o primeiro estado excitado 0^+ , suposta pelos autores como 2404 keV, é maior que a prevista por Camp [3] (2402 keV), sugerindo, portanto, uma melhor avaliação desses resultados. No presente estudo, os fotopicos de 3094 keV e 2402 keV foram identificados na medida de espectroscopia- γ (tabela I.5.4). As relações de coincidências que envolvem estas transições foram verificadas conforme dados da tabela II.1 e são compatíveis com seu posicionamento; entretanto, não foi possível a identificação do dubleto a 2402 keV, apesar dos dados de coincidências (tabela II.1) serem compatíveis com sua existência. Desta forma o esquema de decaimento deve possuir um dubleto na energia de 2402 keV posicionado em $2402 \text{ keV} \rightarrow 0 \text{ keV}$ e $3094 \text{ keV} \rightarrow 691 \text{ keV}$, sendo esta hipótese sustentada pelos dados de coincidências.

Nível 3097 keV

Este nível está sendo proposto no presente trabalho com base nas relações de coincidências que envolvem as transições γ de 1032 keV, 1368 keV e 1633 keV. Esta proposição tem fundamento nos seguintes resultados:

a) Na medida de espectroscopia- γ foram identificadas as transições γ de 1032 keV, 1368 keV e 1633 keV, como mostra a tabela I.5.4. A transição γ de 1032 keV, embora observada em trabalhos anteriores [3,4], não foi posicionada no esquema de decaimento e as transições γ de 1368 keV e 1633 keV estão sendo observadas pela primeira vez.

b) Nas medidas de coincidências, a transição γ de 1032 keV se mostra coincidente com as transições γ de 600 keV, 629 keV, 834 keV e 1230 keV como pode se observar na figura III.11. Além disso, a transição γ de 1464 keV que é bem estabelecida se mostra coincidente também com 1032 keV (figura III.4). A presença da transição γ de 1032 keV também é observada nas janelas de 600 keV, 629 keV, 834 keV e 1230 keV (tabela II.1).

c) No que diz respeito à transição γ de 1368 keV, este nível está sendo proposto baseado nas relações de coincidências de 1368 keV com 894 keV (figura III.12).

d) Com relação à transição γ de 1633 keV, não janelada, temos seu provável posicionamento no nível a 3097 keV, com base na relação de coincidência com 629 keV como mostra a figura III.3.

De acordo com estes argumentos, o nível a 3097 keV sugerido neste estudo, via decaimento β^- , é consistente com as possibilidade de spin 1 ou 2, com favorecimento da paridade positiva, pois no caso de paridade negativa teríamos um caráter de quadrupolo magnético para as transições γ de 1032 keV e 1633 keV, o que é pouco provável.

Figura III.11: Espectro de coincidência da janela em energia a 1032 keV

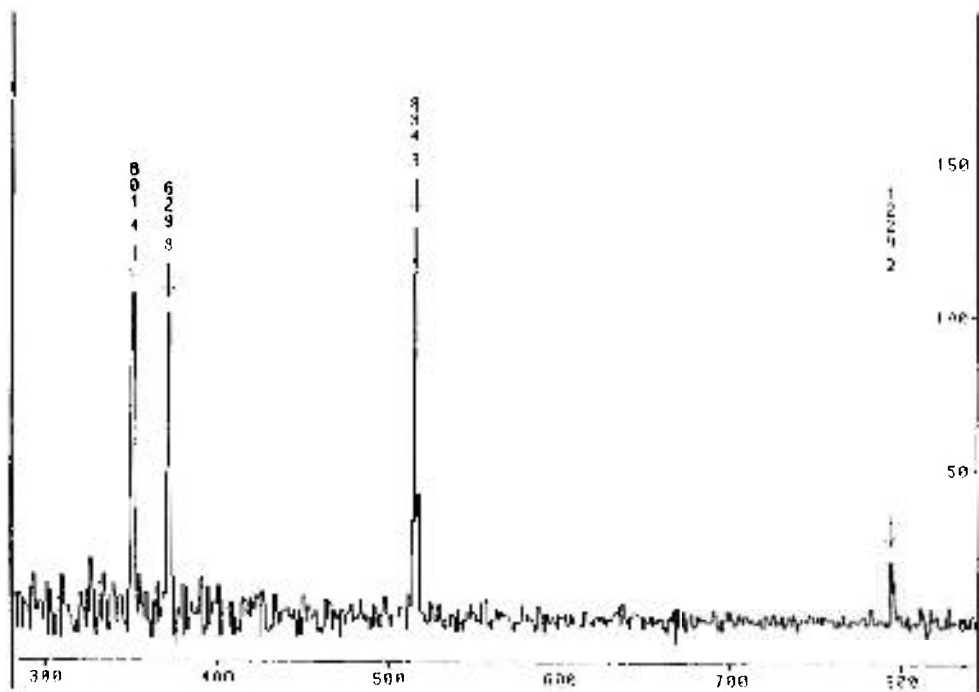
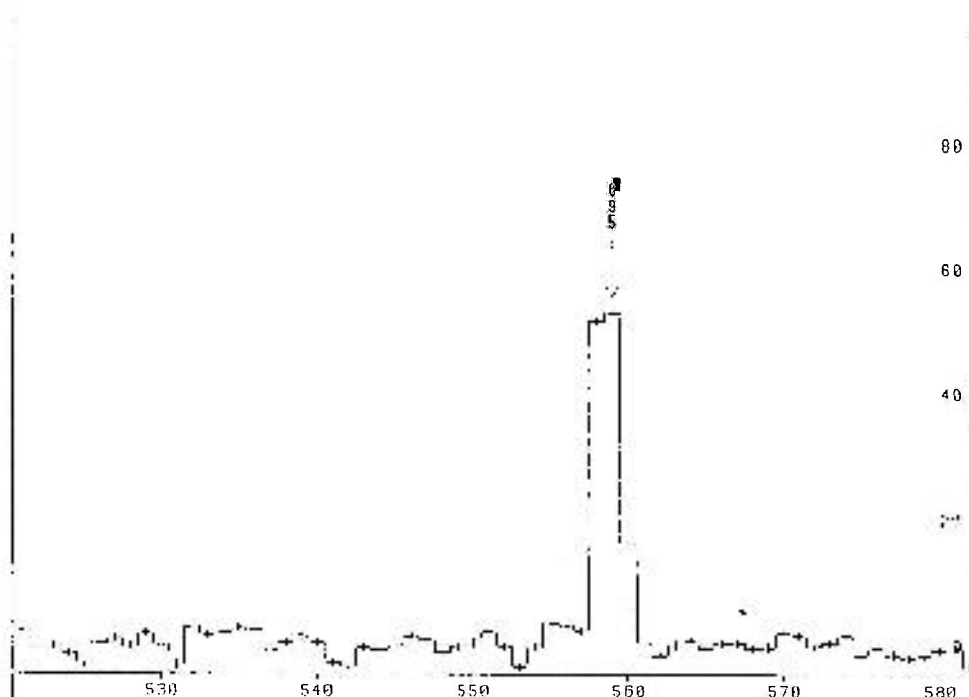


Figura III.12: Espectro de coincidência da janela em energia a 1368 keV



Nível 3247 keV

Este nível está sendo proposto no presente trabalho, baseado nas relações de coincidências entre a transição γ de 1519 keV com 317 keV, 834 keV e 894 keV. A transição γ de 1519 keV embora observada em trabalhos anteriores [3,4], não foi posicionada no esquema de decaimento. No presente estudo, a transição γ de 1519 keV foi observada no espectro direto, como mostra a tabela I.5.4, e os seguintes espectros de coincidência confirmam a sua existência:

- i) janela em 834 keV, figura III.2
- ii) janela em 894 keV, figura III.5
- iii) janela em 317 keV, tabela II.2

As relações de coincidências, obtidas neste trabalho, para a janela de 1519 keV, são apresentadas na tabela II.1 e podem ser visualizadas na figura III.13

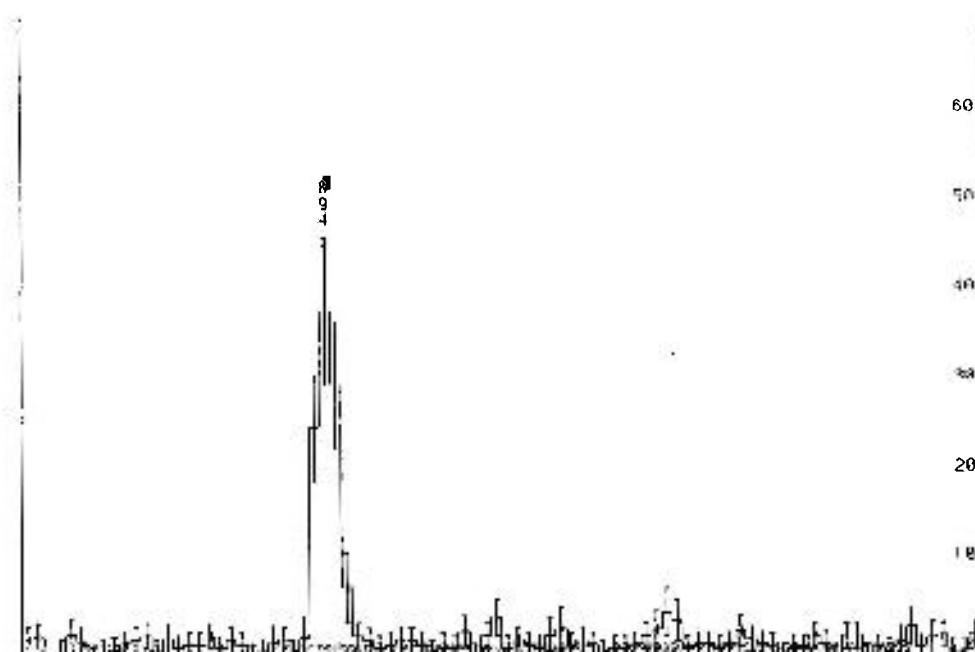
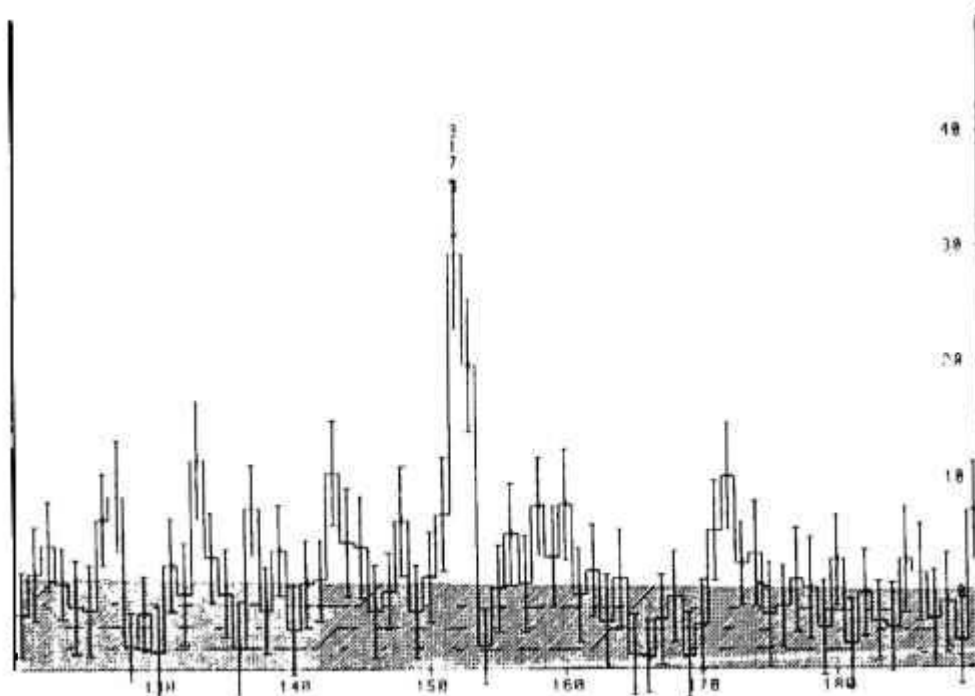
A coincidência de 1519 keV com 317 keV sugere a possibilidade de dubleto na energia de 317 keV, como será discutido na análise do nível a 3565 keV.

As possibilidades de spin e paridade foram analisadas, sendo favorecidos $J^\pi = 2^{(+)}$, 3, 4. A possibilidade de spin igual a 1 foi eliminada, pois esta suposição requer que a transição γ de 1519 keV tenha caráter de octopolo magnético no caso de paridade positiva, ou de octopolo elétrico para paridade negativa, o que é pouco provável. Da mesma forma, para $J=2$, a paridade positiva é mais provável, pois para $J^\pi=2^-$ a transição γ de 1519 keV possuiria um caráter predominante de

quadrupolo magnético ($M2$) o que é pouco favorecido, entretanto a possibilidade 2^- não pode ser definitivamente descartada.

Embora o valor de $\log ft$ não tenha sido calculado, essas possibilidades de J^π sugerem para esta alimentação β um caráter permitida ou de primeira proibida.

Figura III.13: Espectro de coincidência da janela em 1519 keV



Nível 3325 keV

Este nível é fortemente alimentado pelo decaimento β^- [1] e se desexcita pelas transições γ de 231 keV, 289 keV, 381 keV, 810 keV, 861 keV, 1260 keV, 1596 keV, 1860 keV, 2491 keV, 2633 keV e 3325 keV para os níveis 3094 keV (2^+), 3035 keV (2^-), 2943 keV (3^-), 2514 keV (3^-), 2464 keV (4^+), 2065 keV (3^+), 1728 keV (4^+), 1464 keV (2^+), 834 keV (2^+), 691 keV (0^+) e fundamental (0^+) respectivamente, sendo a transição γ de 231 keV ainda por confirmar. Um estudo recente [15] envolvendo medidas de correlação angular para as cascatas de 2490 keV - 834 keV, 1596 keV - (894 keV) - 834 keV e 1860 keV - (894 keV) - 834 keV estabelece spin e paridade 3^- .

No presente trabalho, os resultados obtidos, apresentados na tabela II.1, confirmam estes dados e propõem também para este nível as transições γ de 374 keV, 629 keV e 923 keV.

Com relação à transição γ de 231 keV, observada no espectro simples (tabela I.5.4), os seguintes espectros de coincidências confirmam seu posicionamento neste nível:

i) janela em 3094 keV

ii) janela em 2402 keV

como mostram os dados apresentados na tabela II.1.

O fotopico de 374 keV observado no espectro simples, como mostra a tabela I.5.4, foi observado pela primeira vez neste estudo e as seguintes relações de coincidências, apresentadas na tabela II.1, confirmam sua existência:

i) janela em 2116 keV, figura III.9

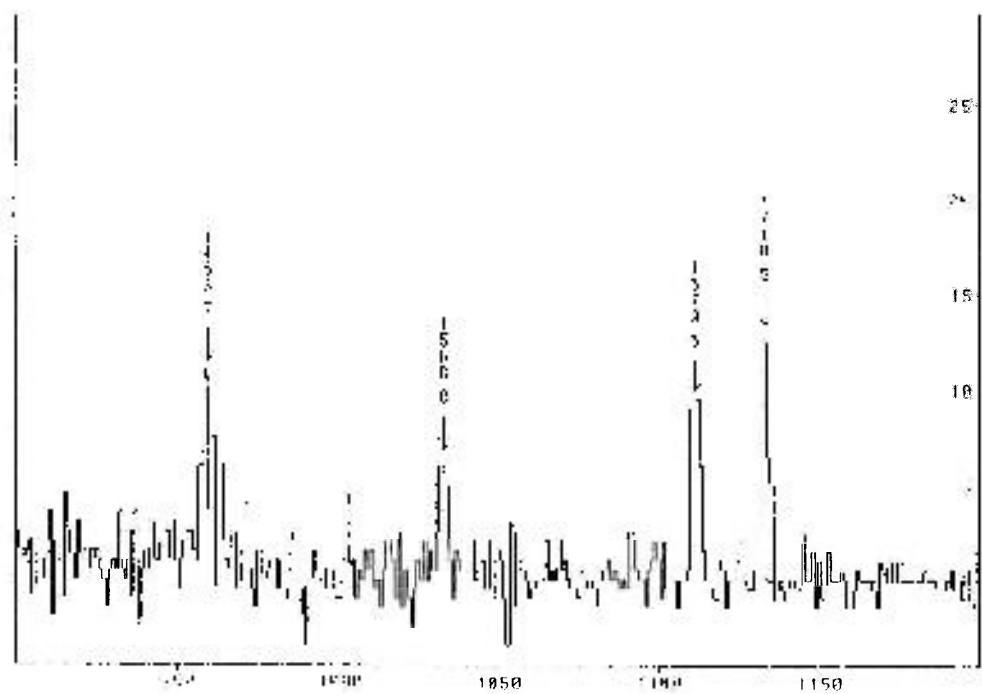
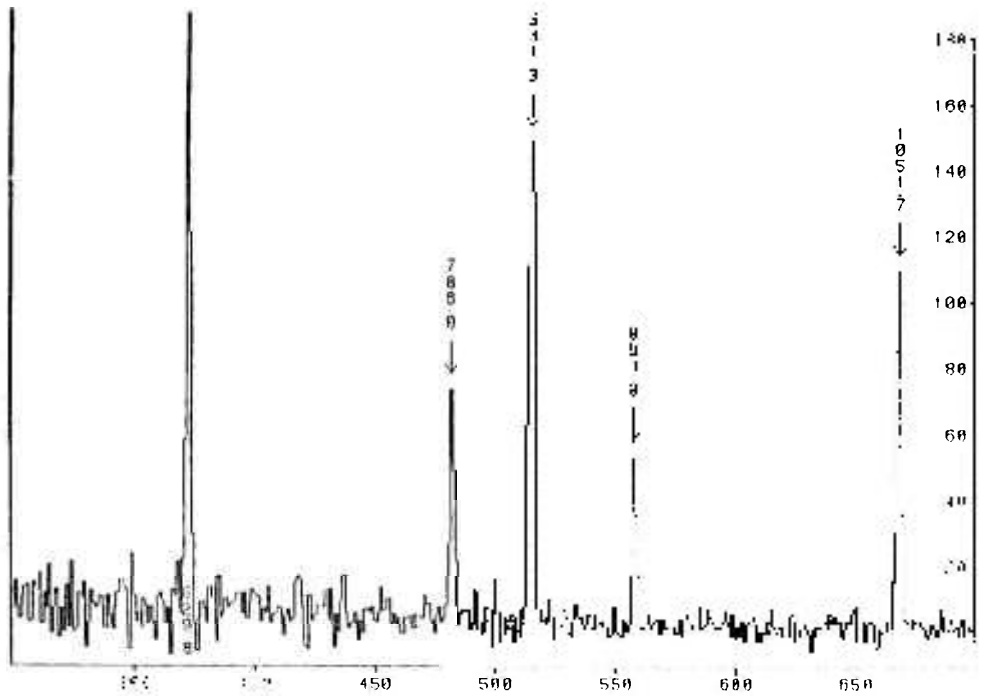
ii) janela em 2951 keV, tabela II.2

As relações de coincidências para a janela de 374 keV são apresentadas na tabela II.1 e condizem com seu posicionamento no nível em questão (figura III.8).

A transição γ de 629 keV, cuja intensidade relativa é alta, trata-se de uma transição γ bem estabelecida, posicionada no nível excitado a 1464 keV e sua presença em 31 espectros de coincidência, conforme dados da tabela II.1, confirmam esses dados. Entretanto, as relações de coincidência entre 629 keV com 2694 keV e 1629 keV (figura III.3) sugerem seu posicionamento no nível a 3325 keV. Desta forma, o esquema de decaimento do ^{72}Ga deve possuir um dubleto na energia de 629 keV. Entretanto, o ajuste deste dubleto não foi possível, em parte devido à alta intensidade da transição ($\sim 27\%$) e à proximidade com o fotopico de 633 keV, sendo esta proposição sustentada basicamente pelas relações de coincidências.

As relações de coincidências que envolvem a transição γ de 923 keV também foram verificadas, como mostra a figura III.14 e são compatíveis com o esquema de níveis proposto pelo NDS [1], ou seja, com seu posicionamento no nível a 3439 keV, entretanto sua coincidência com as transições γ de 1568 keV e 1710 keV sugere o seu posicionamento neste nível. Com este resultado o esquema de níveis do ^{72}Ge passa a possuir um dubleto de $923,044 \pm 0,038$ keV pertencente ao nível em questão e de $924,795 \pm 0,017$ keV pertencente ao nível de 3439 keV.

Figura III.14. Espectro de coincidência da janela em energia a (923 + 924) keV



Nível 3338 keV

Este nível foi sugerido por Camp [3], em medidas de espectroscopia, com base na observação da transição γ para o estado fundamental com $J^\pi = 1^+, 2^+$ e $\log ft = 9,68$ [1]. Entretanto, medidas realizadas posteriormente por Rester e outros [4] não confirmam esses resultados. No presente estudo, a presença da transição γ para o estado fundamental, como pode ser observado pelo espectro direto (tabela I.5.4), confirma a presença deste nível. Com relação às medidas de coincidências $\gamma\gamma$, para a janela de 3338 keV, nenhuma relação foi observada.

Nível 3341 keV

Trata-se de um nível estabelecido pelas transições γ de 306 keV, 402 keV, 587 keV, 939 keV, 1276 keV, 1877 keV e 2507 keV. Um estudo recente [15] envolvendo a correlação angular $\gamma\gamma$ da cascata 2507 keV - 834 keV confirma a previsão de spin e paridade 2^- .

No presente trabalho, os resultados obtidos, de acordo com a tabela II.1, confirmam estes dados e propõem também para este nível as transições γ de 827 keV e 3341 keV. As transições γ de 306 keV e 402 keV, que ainda estavam para serem confirmadas, foram sugeridas e posicionadas por Camp [3] neste nível. Estas transições γ foram observadas neste trabalho nas medidas de espectroscopia- γ como mostra a tabela I.5.4. As relações de coincidências para as transições γ de 306 keV e 402 keV, obtidas neste trabalho, são apresentadas na tabela II.1, confirmando a tentativa de posicionamento destas transições γ por Camp [3].

Da mesma forma, com relação à transição γ para o estado fundamental, sugerida e posicionada por Rester e outros [4], que ainda está por ser confirmada, os dados do presente estudo são compatíveis com a sua existência e posicionamento.

O fotopico de 827 keV foi observado, pela primeira vez neste estudo, nas medidas de espectroscopia como mostra a tabela I.5.4 e os seguintes espectros de coincidência confirmam sua existência:

- a) janela em 629 keV, figura III.3
- b) janela em 834 keV, figura III.2
- c) janela em 894 keV, figura III.5
- d) janela em 1050 keV, figura III.15
- e) janela em 2514 keV, tabela II.1

As relações de coincidências, obtidas neste trabalho, para a janela de 827 keV são apresentadas na tabela II.1 e podem ser observadas através do espectro de coincidências gerado como mostra a figura III.16. Essas relações mostram que este nível se desexcita por meio da transição γ de 827 keV para o nível a 2514 keV.

Figura III.15: Espectro de coincidência da janela em energia a 1050 keV

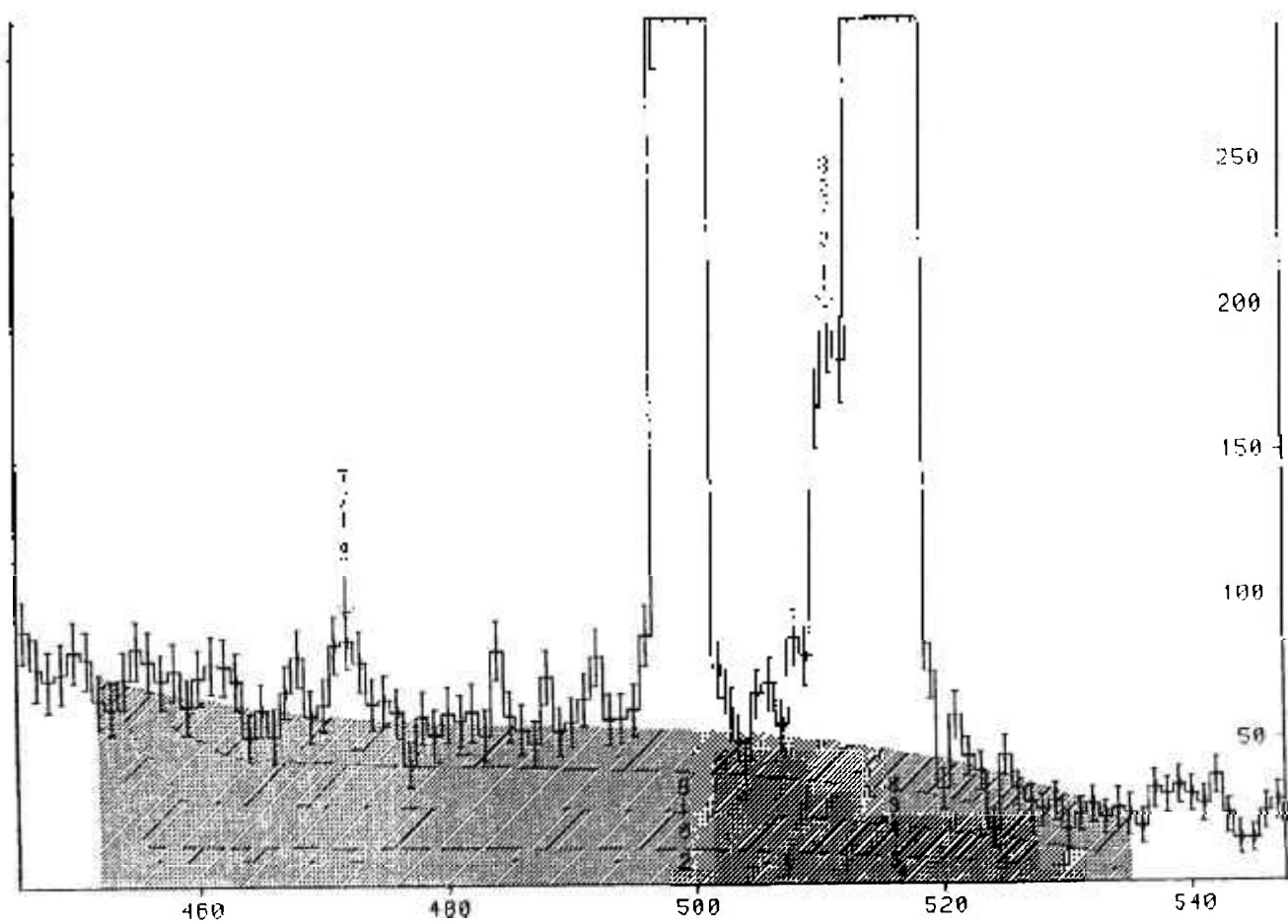


Figura III.15: Continuação

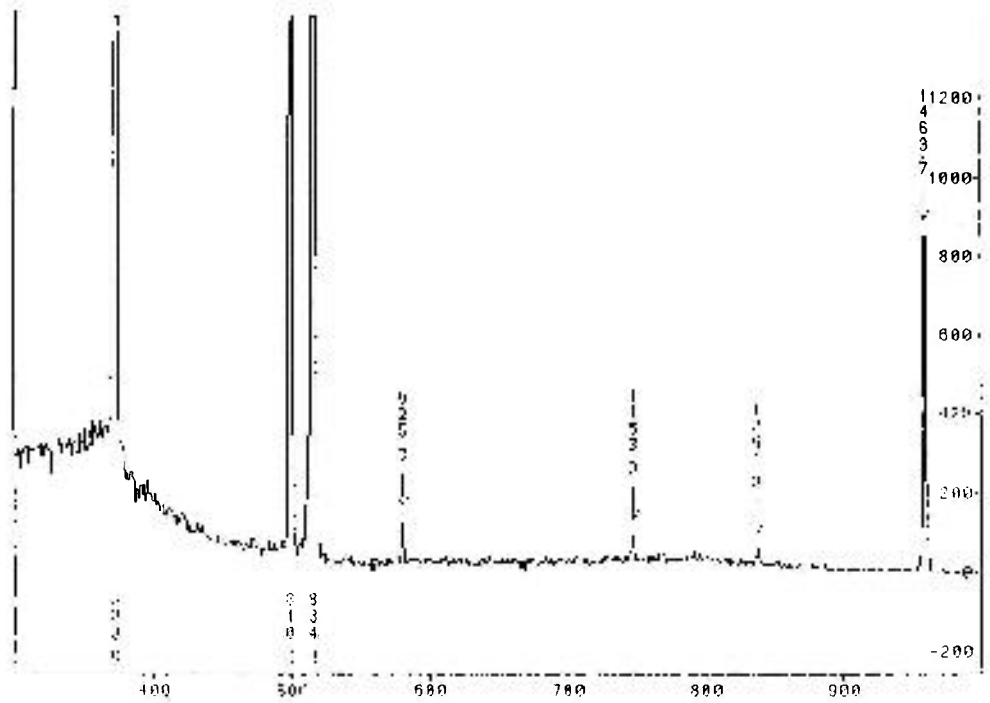
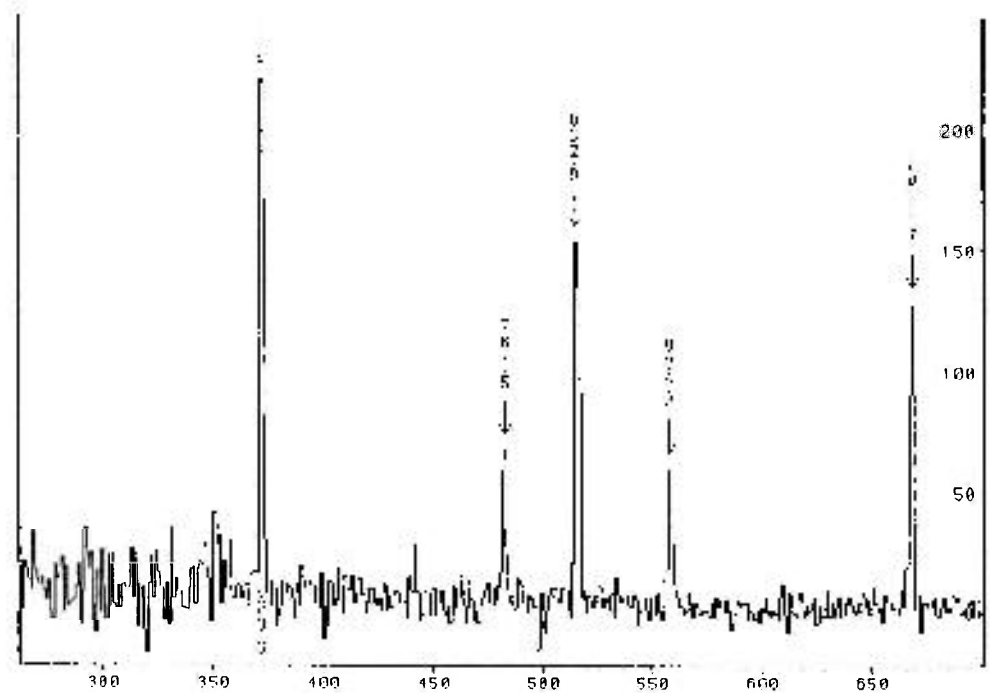


Figura III.16: Espectro de coincidência da janela em energia a 827 keV



Nível 3419 keV

Este nível foi sugerido por Camp [3] e por Rester e outros [4] somente através de estudos envolvendo o decaimento β^+ do ^{72}As , sendo estabelecido pelas transições γ de 904 keV e 2585 keV com $J^\pi = 2^+$. No presente estudo, que envolve o decaimento β^- do ^{72}Ga , a transição γ de 2585 keV foi observada em medidas de espectroscopia- γ como mostra a tabela 1.5.4; entretanto, devido a sua baixa intensidade (0,0053%) e sua proximidade com a transição γ de 2582 keV (0,0123%), não foi possível a análise de sua janela em energia com precisão, pois sua provável coincidência com a intensa transição γ de 834 keV (2^+), como acontece pela via de decaimento β^+ , apresenta baixa estatística.

Este nível foi observado também em estudo envolvendo a reação nuclear $^{74}\text{Ge}(p,t)$ [33] com energia de 3421 ± 3 keV sendo estabelecido também com $J^\pi = 2^+$.

Nível 3439 keV

Estudos anteriores [3,4] estabelecem para este nível as transições γ de 496 keV, 924 keV, 975 keV, 1037 keV, 1711 keV e 2605 keV, com $\log ft = 7,42$ [1].

As transições γ de 975 keV e 1037 keV, que ainda estão por serem confirmadas, foram sugeridas e posicionadas no esquema de níveis por Camp [3]. Estas transições γ bem como suas relações de coincidências foram observadas no presente trabalho nas seguintes situações:

- a) na medida de espectroscopia simples, (tabela 1.5.4)
- b) nas janelas em energia a 735 keV e 999 keV (tabela II.1), onde aparece a transição γ de 975 keV
- c) na janela em energia a 1710 keV (tabela II.1) onde aparece a transição γ de 1037 keV

As relações de coincidências obtidas para as transições γ de 975 keV e 1037 keV, neste trabalho, são apresentadas na tabela II.1, confirmando os resultados obtidos por Camp [3].

As relações de coincidências das transições γ de 496 keV, 924 keV, 1711 keV e 2605 keV também foram verificadas, conforme dados da tabela II.1, e são compatíveis com o esquema de níveis proposto pelo NDS [1].

A possibilidade de $J^\pi = 4^-$, sugerida por Camp [3] requer que a transição γ de 2605 keV seja M2. As possibilidades sugeridas por Rester e outros [4] 2^+ , 3^- e 4^+ são compatíveis com nossos resultados.

Nível 3455 keV

Este nível foi proposto nos estudos de decaimento β^+/EC e β^- , realizados por Camp [3], com atribuição de spin e paridade 2^- . Segundo o autor, este nível se desexcita por meio das transições γ de 113 keV, 940 keV, 1390 keV, 1991 keV e 2621 keV, sendo a transição γ de 940 keV observada somente pelo decaimento β^+ do ^{72}As . O trabalho de Rester e outros [4] propõe a existência da transição γ de 940 keV pelo decaimento β^- do ^{72}Ga ; entretanto, a presença das

transições γ de 113 keV e 1991 keV não foram observadas nesse estudo. De acordo com esses dados, as possibilidades de J^π sugeridas pelos autores restringem-se a 2 , 3 e 4^+ .

Os dados obtidos no presente trabalho confirmam a existência da transição γ de 1991 keV (tabela I.5.4) bem como suas relações de coincidências (tabela II.1). Como as medidas de coincidências, realizadas no presente estudo, envolvem o intervalo de energia de 130 keV a 3900 keV, não foi possível a análise da janela em energia a 113 keV. Além disso, não foi possível a identificação do dubleto a 113 keV na medida de espectroscopia, não sendo possível confirmar sua existência no esquema de decaimento e conseqüentemente seu posicionamento no nível em questão.

Com relação à transição γ de 940 keV não é possível qualquer conclusão quanto ao seu posicionamento pois, a análise da janela em energia de 112 keV (2514 keV-2402 keV), que poderia confirmar o seu posicionamento neste nível não foi obtida devido ao intervalo de energia medido. Além disso, a análise do fotopico de 939 keV, identificado na medida de espectroscopia- γ , sugere somente a possibilidade de dubleto nesta energia, a saber: $939,648 \pm 0,016$ keV e $938,28 \pm 0,06$ keV (figura I.7), resultados já discutidos na análise dos níveis a 3341 keV e 2402 keV, respectivamente.

As relações de coincidências das transições de 1390 keV e 2621 keV também foram verificadas (tabela II.1) e são compatíveis com o esquema de níveis proposto pelo NDS [1].

A razão de mistura multipolar da transição γ de 2621 keV, $\sim E1$ [1], restringe $J^\pi=2^-$ e 3^- .

Nível 3565 keV

Este nível foi sugerido por Rester e outros [4] com base na relação de coincidência de 1837 keV com 894 keV. A transição γ de 1500 keV também foi atribuída a este nível, porém suas relações de coincidências não foram obtidas experimentalmente. Ainda, segundo os autores, as possibilidades de spin são restritas a 2 , 3 e 4 . De acordo com estudos envolvendo as reações nucleares ($^3\text{He},d$) [25] e (p,d) [34], $J^\pi = 3^-$ é favorecido.

No presente trabalho, a análise das relações de coincidências das transições γ de 1500 keV e 1837 keV, apresentadas na tabela II.1, confirmam a existência deste nível. Além disso, uma análise envolvendo a relação de coincidência da transição γ de 317 keV com 1519 keV (figura III.13) sugere o posicionamento da transição γ de 317 keV neste nível. Desta forma, o esquema de decaimento deve possuir um dubleto na energia de 317 keV posicionado em 3757 keV \rightarrow 3439 keV e 3565 keV \rightarrow 3247 keV. Entretanto, não foi possível o ajuste do dubleto, sendo esta hipótese sustentada pelos dados da medida de coincidência.

Nível 3619 keV

Este nível foi proposto por Camp [3] com base na observação das transições γ de 1155 keV e 2785 keV, apenas em suas medidas de espectroscopia. Segundo o autor, as duas transições γ observadas decaem para os níveis 4^+ (2464 keV) e 2^+ (834 keV), respectivamente, com $\log ft$ de

7,7 e $J^\pi = 4^+$. Nas medidas de espectroscopia realizadas por Rester e outros [4], foi observada somente a transição γ de 2785 keV, sem ser posicionada no esquema de decaimento. As amostras de Gálio, utilizadas por Rester e outros [4], eram enriquecidas isotopicamente em 99% de ^{71}Ga . Camp [3] não fornece informações sobre a pureza química ou isotópica das amostras utilizadas. O presente trabalho, como já mencionado na secção I.3.1, obtém o ^{72}Ga a partir do Gálio natural (60% de ^{71}Ga) quimicamente puro (>99%). O espectro direto acumulado por 207hs não confirma a presença da transição γ 1155 keV (tabela I.5.4). Além disso, neste trabalho, foi feita uma análise das relações de coincidências prováveis com a transição γ de 1155 keV, isto é, nas janelas em energia de 629 keV, 735 keV, 772 keV, 834 keV, 999 keV e 1464 keV, conforme dados apresentados na tabela II.1, e esta transição γ também não foi observada.

Com relação à transição γ de 2785 keV, as medidas realizadas neste trabalho confirmam seu posicionamento neste nível com base na relação de coincidências com a transição γ de 834 keV (tabela II.1).

Trabalhos mais recentes com a reação nuclear (t,p), de Mordechai e outros [30] e Lebrun e outros [19], confirmam a existência deste nível e propõem $J^\pi = 2^+$.

Nível 3678 keV

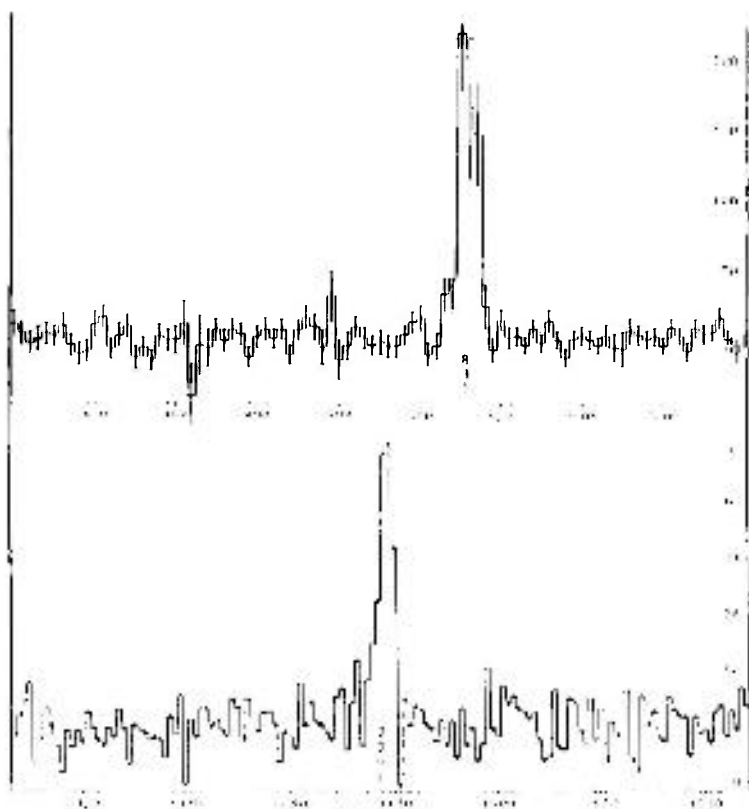
Este nível foi sugerido por Camp [3] e por Rester e outros [4] em medidas de coincidências $\gamma\gamma$, com possibilidade de $J^\pi = 2^-$ e 3^- . Esses estudos estabelecem que este nível se desexcita pelas transições γ de 738 keV, 1163 keV, 1613 keV, 2214 keV, 2844 keV para os níveis 2940 keV (1^-), 2514 keV (3^-), 2065 keV (3^+), 1464 keV (2^+) e 834 keV (2^+) respectivamente, sendo que a transição γ de 738 keV ainda está por ser confirmada. No presente trabalho, essas transições γ também foram observadas, como mostram os dados apresentados na tabela II.1. Além disso foram posicionadas as transições γ de 642 keV e 3678 keV observadas pela primeira vez.

No presente estudo, a transição γ de 642 keV foi observada pela primeira vez nas medidas de espectroscopia, como mostra a tabela I.5.4, e os espectros de coincidências que envolvem as janelas em energia a 834 keV, 1710 keV e 2201 keV (tabela II.1) confirmam sua existência. As relações de coincidências obtidas neste trabalho, para a janela em energia a 642 keV, são apresentadas na tabela II.1 e podem ser observadas através do espectro de coincidência gerado como mostra a figura III.17.

A transição γ para o estado fundamental foi observada neste trabalho em medidas de espectroscopia simples (tabela I.5.4), não tendo sido observada em nenhuma relação de coincidência. A existência desta transição γ favorece os spins mais baixos (1, 2, 3), entretanto, para $J = 1$ os decaimentos para os níveis 3^- e 3^+ estabelecem um caráter de quadrupolo magnético para a transição γ de 1163 keV, no caso de paridade positiva, da mesma forma para a transição γ de 1613 keV, no caso de paridade negativa, o que é pouco provável. Para $J = 3$ tem-se para a transição γ de 3678 keV um caráter de octopolo (elétrico ou magnético), o que

também é pouco favorecido com relação a E2, sugerindo, assim, a possibilidade 2^+ como mais viável para o nível em questão.

Figura III.17: Espectro de coincidência da janela em energia a 642 keV



Nível 3707 keV

Este nível foi sugerido por Rester e outros [4], com base na observação da coincidência de 1192 keV com 1050 keV. Nos estudos realizados por Camp [3], a transição γ de 1192 keV foi observada somente pelo decaimento β^+ do ^{72}As , não tendo sido posicionada.

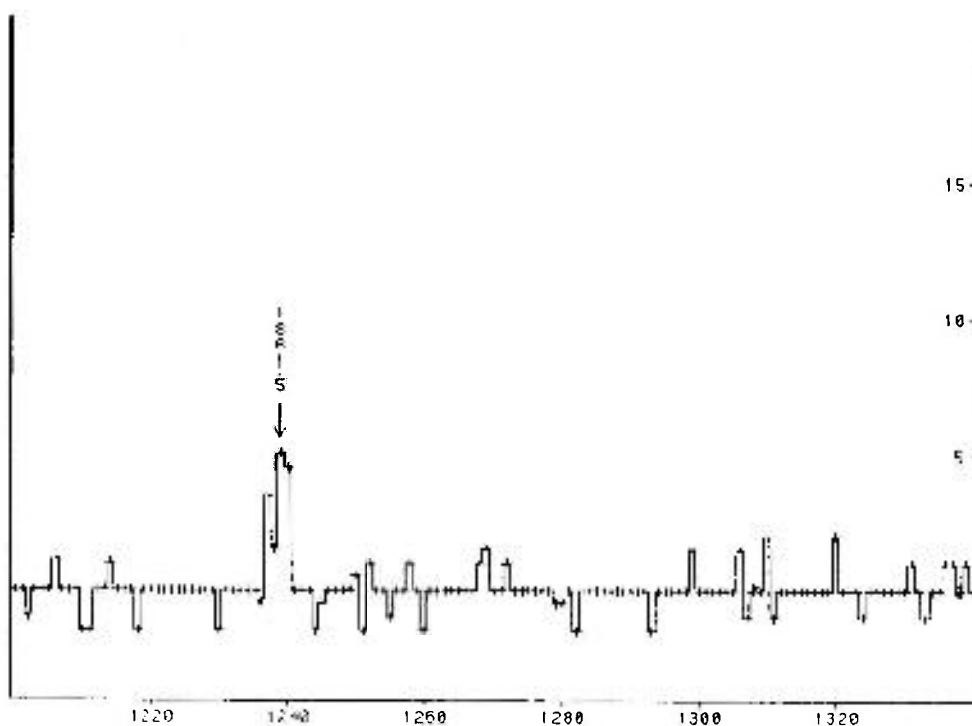
No presente estudo, a transição γ de 1192 keV foi observada no espectro simples (figura I.3).

A relação de coincidência entre 1192 keV com 1860 keV, obtida neste trabalho, não condiz com seu posicionamento no nível em questão (figura III.18).

Devido à possibilidade de se analisar cada transição γ isoladamente, foi feita uma análise das prováveis relações de coincidências que estariam envolvidas com 1192 keV, de acordo com o estudo de Rester e outros [4], isto é: 449 keV, 786 keV, 1050 keV, 1680 keV e 2514 keV. Isto foi feito com o intuito de se verificar o posicionamento da transição γ de 1192 keV, entretanto, a presença dessa transição γ não foi observada em nenhum desses espectros de coincidências (tabela II.1).

Com base nesses resultados, o presente trabalho descarta a existência do nível a 3707 keV, o qual também não foi observado em nenhum estudo envolvendo decaimento β^+/Ec e reações nucleares [1].

Figura III.18: Espectro de coincidência da janela em energia a 1192 keV



Nível 3757 keV

Estudos anteriores [3,4] estabelecem para este nível as transições γ de 2029 keV e 317 keV, sendo que esta última ainda está por ser confirmada. No presente estudo, a transição γ de 317 keV foi observada no espectro simples (tabela I.5.4) e as relações de coincidências obtidas são apresentadas na tabela II.1, sendo condizente com seu posicionamento no nível em questão. Entretanto, como foi discutido na proposição do nível a 3247 keV, a presença da transição γ de 1519 keV neste espectro de coincidência sugere a possibilidade de duplete para o fotopico de 317 keV.

As relações de coincidências que envolvem a transição γ de 2028 keV também foram verificadas, conforme dados da tabela II.1 e são compatíveis com o esquema de níveis proposto no NDS [1].

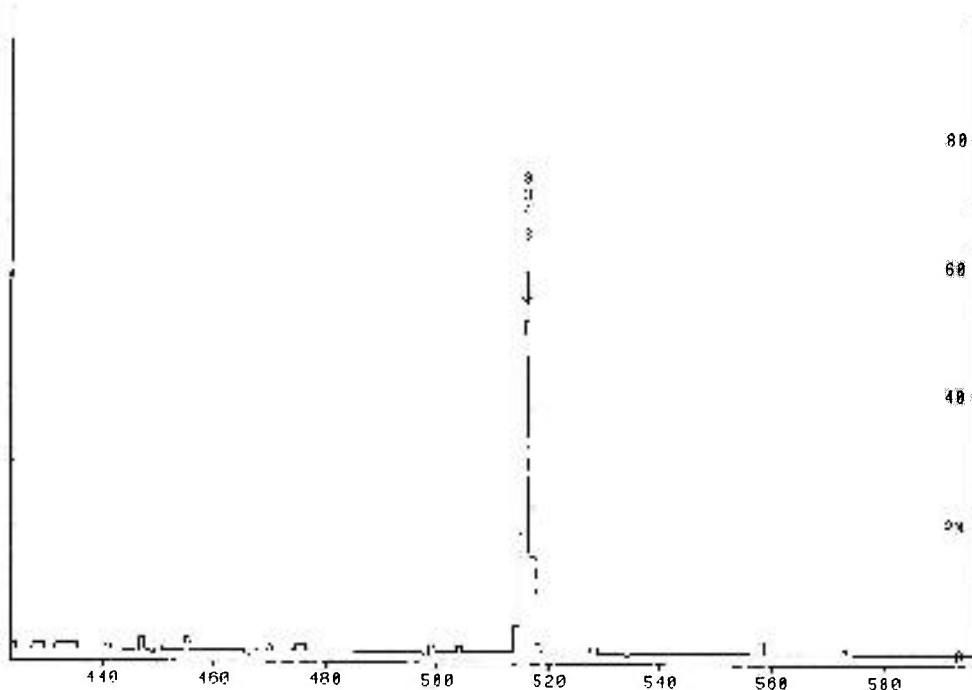
As possibilidades de spin sugeridas por Rester e outros [4], $J = 3$ ou 4 , são condizentes com o presente resultado. A transição γ para o estado 4^+ elimina a possibilidade de 2^- e estudos envolvendo a reação nuclear $^{73}\text{Ge}(p,d)$ [34] propõem para este nível paridade negativa.

Nível 3815 keV

Foi proposto com base na relação de coincidência da transição γ de 2981 keV com 834 keV, observada por Camp em seus estudos envolvendo o decaimento β^- [3]. A transição γ de 2981 keV também foi observada por Rester e outros [4] em medidas de espectroscopia simples, entretanto, sua coincidência com a transição γ de 834 keV não foi observada.

No presente trabalho, a janela em energia a 2981 keV confirma a relação de coincidência com a transição γ de 834 keV (figura III.19). Como somente esta transição γ foi observada para estabelecer este nível, as possibilidades de $J^\pi = 2^-$ e 3^- sugeridas por Camp [3], que leva em conta também a alimentação β^+ caracterizando as transições β^- e β^+ como permitidas, também foram assumidas neste estudo.

Figura III.19: Espectro de coincidência da janela em energia a 2981 keV



III.3 Transições γ não posicionadas no esquema de níveis

De acordo com as tabelas: I.5.5 e I.5.6, 16 transições γ , identificadas na medida de espectroscopia, não foram posicionadas no presente estudo, a saber (energia em keV): 223, 228, 398, 570, 898, 932, 1192, 1291, 1361, 1374, 1821, 1898, 2686, 2691, 2831 e 2898. Destas transições γ , somente 8 não foram janeladas devido principalmente à baixa intensidade (tabela I.5.4), a saber: 898 keV, 932 keV, 1374 keV, 1898 keV, 2686 keV, 2691 keV, 2831 keV e 2898 keV. Entretanto, uma análise das relações de coincidências, apresentadas na tabela II.1, mostra que:

i) transição γ de 898 keV foi observada nas janelas em energia a 1037 keV e 1260 keV

ii) transição γ de 932 keV foi observada nos estudos envolvendo a reação ($\alpha, ^2\text{He}$), realizados por Jahn e outros[35], sendo posicionada no nível a 2395 keV. Este nível não foi observado no presente estudo.

iii) transição γ de 1374 keV foi observada na janela em energia a 834 keV

iiii) transição γ de 1898 keV foi observada nas janelas em energia a 223 keV, 228 keV e 894 keV.

Estes dados sustentam a presença das transições γ de 898 keV, 932 keV, 1374 keV e 1898 keV no esquema de decaimento do ^{72}Ga , mas não foram suficientes para propor o respectivo posicionamento.

Com relação às transições γ de 2686 keV, 2691 keV, 2831 keV e 2897 keV não janeladas e não observadas em nenhuma relação de coincidência (tabela II.1), foi verificada a possibilidade de admiti-las como níveis excitados do presente decaimento. Para tanto, utilizou-se o programa Esquema (descrito no apêndice) entretanto, nenhuma alimentação ou desexcitação via transição γ , exceto para o estado fundamental, foi observada. Desta forma, a inclusão destes níveis de energia no esquema de decaimento pôde ser possível; mas, devido à falta de demais argumentos, tanto de coincidência, como de alimentação beta, esses níveis não foram atribuídos.

Com relação à transição γ de 2694 keV, os resultados obtidos na medida de coincidência sugerem a possibilidade da existência do nível a 2694 keV, como será discutido a seguir.

A transição γ de 2694 keV está sendo observada pela primeira vez neste estudo, tanto nas medidas de espectroscopia (tabela I.5.4) como nas relações de coincidências que envolvem a janela em energia a 629 keV (tabela II.1). A tentativa de incorporar o nível a 2694 keV ao esquema de decaimento baseia-se na significativa relação de coincidência entre a transição de 629 keV com 1629 keV e 2694 keV, como mostram os resultados obtidos para a janela em energia a

629 keV, figura III.3. Mas para isto ser possível, a transição γ de 629 keV deve fazer parte de um dubleto e seu posicionamento no nível a 3325 keV é condizente com a relação de coincidência que envolve a transição γ de 2694 keV. Além disso, a coincidência entre 629 keV com 1629 keV (figura III.3) sugere o posicionamento da transição γ de 231 keV no nível em questão. Desta forma, esta transição γ passaria a fazer parte de um dubleto também.

Como não foi possível o ajuste dos dubletos a 231 keV e 629 keV, nem a realização das janelas em energia a 231 keV e 1629 keV, faltam evidências experimentais para a aceitação do nível a 2694 keV no esquema de decaimento do ^{72}Ga . Entretanto, a determinação da energia do nível 2694 keV por meio dos ajustes obtidos pelos programas Esquema e Níveis (Apêndice) e a presença da transição γ de 629 keV na janela em energia a 2694 keV (tabela II.1), são resultados relevantes que sustentam as proposições feitas.

Considerando-se a existência da transição γ para o estado fundamental, a possibilidade de spin e paridade para o nível a 2694 keV restringe-se a 2^+ .

III.4. Síntese das contribuições propostas pelo presente estudo

Em função do exposto, para que se possa fazer uma apreciação dos resultados obtidos nas medidas de espectroscopia e coincidência, será apresentado a seguir, nas tabelas III.3 e III.4, um sumário de todas as contribuições propostas pelo presente estudo.

Tabela III.3: Dados referentes a spin (J), paridade (π) e energia de níveis e modo de desexcitação, obtidos no presente estudo, para o decaimento do ^{72}Ga , juntamente com os dados de J^π previstos pela compilação NDS [1], para comparação.

Presente Trabalho J^π	Energia Nível (keV)	Desexcitação (keV)	NDS [1] J^π	Comentários
0^+	691	691	0^+	Não estudado
2^+	834	142, 834	2^+	
2^+	1464	629, 772 ^a , 1464	2^+	
4^+	1728	894	4^+	
3^+	2065	336, 600, 1230	3^+	
1, 2, 3, 4^+	2303	839		
2^+	2402	938 ^a , 1568, 1710, 2402 ^a	2^+	
4^+	2464	735, 999, 1629 ^a	4^+	
3^-	2514	50, 112 ^a , 449, 786, 1050, 1680, 2514	3^-	A transição γ de 50 keV não foi estudada no presente trabalho
1, 2	2582 ^a	2582		$J^\pi = (1,2)$ sugerido por Rester e outros [4]
2^+	2694 ^b	231 ^b , 2694 ^b		Nível sugerido devido à coincidência entre 629 keV com 1629 keV e 2694 keV
1, 2, 3	2754	1920	(0^+)	$J = 1, 2, 3$ sugerido por Rester e outros [4] e Ardouin e outros [25]
1^-	2940 ^a	1476, 2940 ^a	1^-	Transição γ de 1476 keV observada via decaimento β^+ [3,11]
3, 4^+	2943	428, 479, 878, 1215, 1479, 2109	3^-	$J = 3, 4$ sugerido por Metzger [32]
$1^-, 2^+$	2950 ^a	437, 2116, 2951 ^a	$1^+, 2^+, 3^+$	Transição γ de 2116 keV foi observada via decaimento β^+ [3,11]
2^-	3035	520, 633, 970, 1571, 2201, 3035	2^-	
1, 2	3067	3067 ^a		
2^+	3094	3094, 2402 ^b	2^+	
$1^+, 2^+$	3097	1032, 1368, 1633		
$2^+, 3, 4$	3247	1519		

Presente Trabalho J^π	Energia Nível (keV)	Desexcitação (keV)	NDS [1] J^π	Comentários
3 ⁻	3325	231 ^{a)} , 289, 374 , 381, 629 , 810, 861, 923 , 1260, 1596, 1860, 2491, 2633, 3325	(3) ⁻	
1 ⁺ , 2 ⁺	3338 ^{a)}	3338 ^{a)}	(1 ⁺ , 2 ⁺)	
2 ⁻	3341	306 ^{a)} , 402 ^{a)} , 587, 827 , 939, 1276, 1877, 2507, 3341 ^{a)}	(2) ⁻	
2 ⁺	3419	2585	2 ⁺	Nível proposto em estudos envolvendo decaimento β^+ [3.11] e a reação nuclear (p,t) [33]
2 ⁺ , 3, 4 ⁺	3439	495, 924, 975 ^{a)} , 1037 ^{a)} , 1711, 2605		
2 ⁻ , 3 ⁻	3455	1390, 1991 ^{a)} , 2621	2 ⁻ , 3 ⁻	As transições γ de 113 keV e 940 keV não foram identificadas no presente trabalho
3 ⁻	3565 ^{a)}	317 ^{b)} , 1500, 1837	3 ⁽⁻⁾	
2 ⁺	3619 ^{a)}	2785	2 ⁺	
2 ⁺	3678	642 , 738 ^{a)} , 1163, 1613, 2214, 2844, 3678	2 ⁻ , 3 ⁻	
	3707	1192 ^{b)}	2 ⁺	Nível descartado em função das relações de coincidências verificadas para a transição γ de 1192 keV
3 ⁻ , 4 ⁻	3757	317 ^{a)} , 2029	(-)	
2 ⁻ , 3 ⁻	3815	2981	2 ⁻ , 3 ⁻	

a) Transições γ e níveis de energia confirmados no presente trabalho.

b) Posicionamento da transição γ é incerto no esquema de decaimento.

obs: • Valores em negrito indicam transições γ observadas pela primeira vez e níveis propostos neste trabalho.

Tabela III.4: Dados referentes as transições γ não posicionadas

Energia (keV)	Relação de coincidências $\gamma\gamma$ (keV)	Comentários
223	1898	Observada na janela em energia a 2621 keV
228	1898	
398	600, 629, 633, 894	Figura III.20
570	834	
898	não janelada	Observada nas janelas em energia a 1037 keV e 1260 keV
932	não janelada	Observada em estudos envolvendo a reação ($\alpha, ^2\text{He}$) sendo posicionada no nível a 2395 keV [35]
1192 ^{a)}	1860	
1291 ^{a)}	586, 786, 1050, 1464	Figuras III.4 e III.15
1361	1050	Figura III.21
1374	não janelada	Observada na janela em energia a 834 keV
1821	834	
1898	não janelada	Observada na janela em energia a 223 keV, 228 keV e 894 keV (figura III.5)
2686	não janelada	
2691	não janelada	
2831	não janelada	
2898 ^{a)}	não janelada	

a) Transições confirmadas. As demais foram observadas pela primeira vez no presente estudo.

Figura III.20: Espectro de coincidência da janela em energia a 398 keV

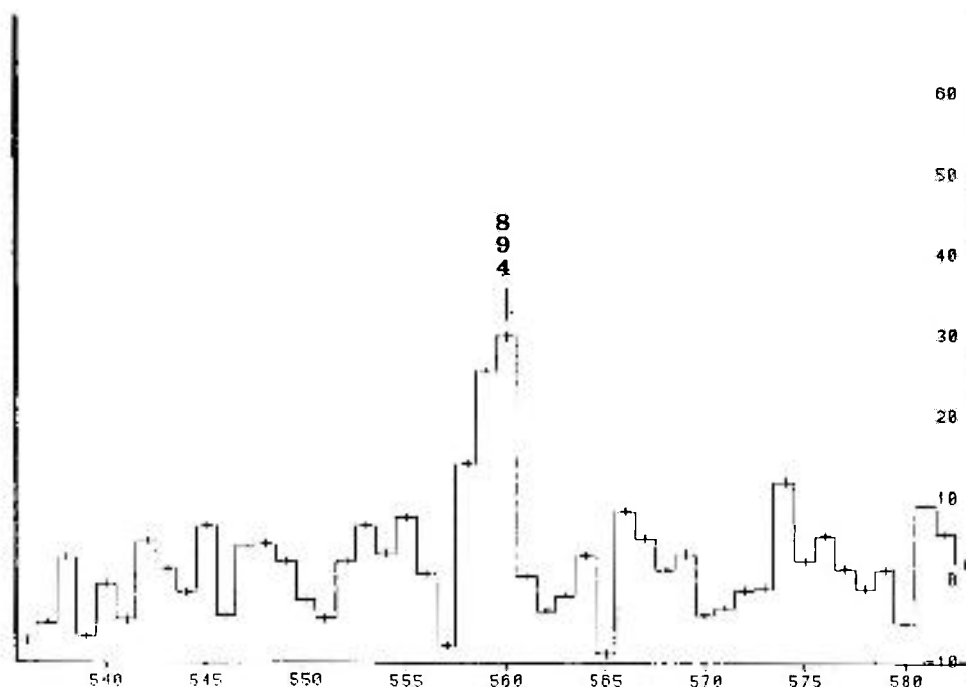
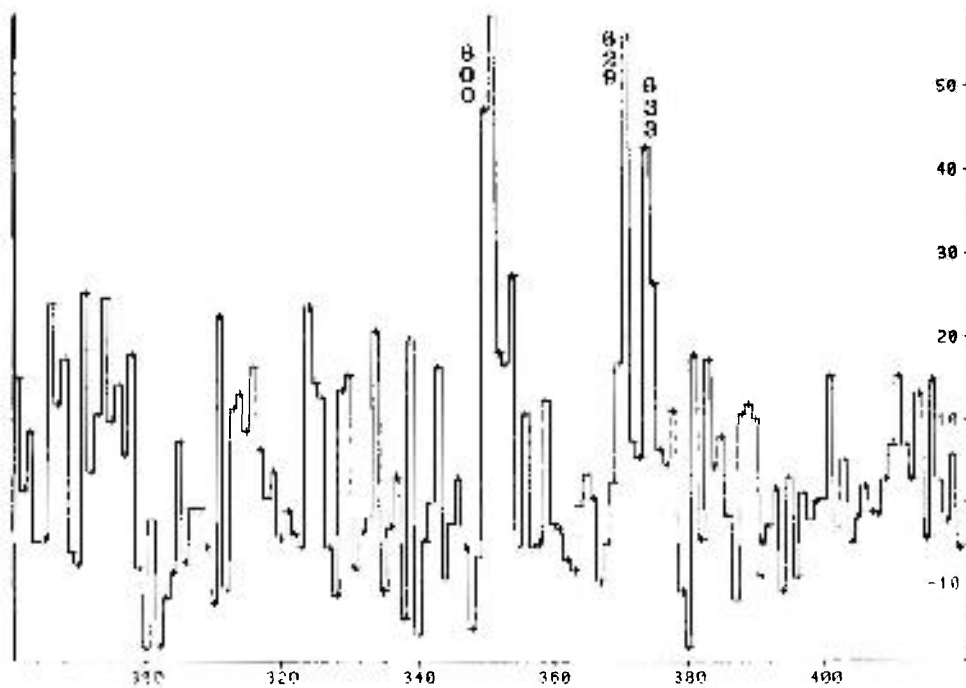
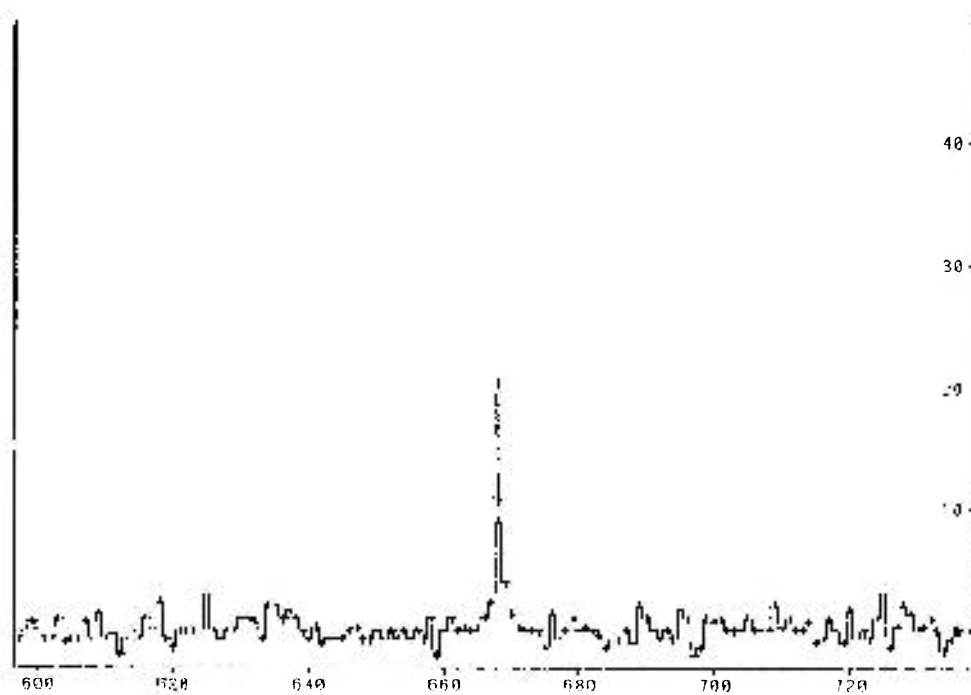


Figura III.21: Espectro de coincidência da janela em energia a 1361 keV



Capítulo IV

Conclusão

No presente trabalho, foram realizadas medidas de espectroscopia- γ e coincidência $\gamma\gamma$ no núcleo de ^{72}Ga . As medidas foram feitas com o uso de espectrômetro de alta resolução em energia, alta estatística e eficiente sistema de aquisição que possibilitou a análise de cada transição- γ isoladamente. Os resultados revelaram a presença de 111 transições- γ bem como a atribuição de 5 novos níveis de energia. Desta forma, o atual esquema de níveis do ^{72}Ga , proposto no presente trabalho apresenta 97 transições- γ distribuídas em 31 níveis de energia sendo 28 transições- γ observadas pela primeira vez, 20 confirmadas e 5, anteriormente atribuídas a este decaimento, não foram observadas.

Os resultados dos dois experimentos, que tornaram possível propor modificações no esquema de decaimento do ^{72}Ga , são apresentados a seguir:

1. determinação das energias e intensidades relativas, com melhor precisão, levando-se em consideração as covariâncias entre os mesmos.
2. determinação da energia dos níveis que compõem o esquema de decaimento do ^{72}Ga , com precisão de uma ordem de grandeza melhor do que os valores conhecidos anteriormente para alguns níveis.
3. determinação de 28 novas transições- γ com o posicionamento de 15 delas no esquema de níveis, a saber:
Posicionadas(energia em keV): 374, 436, 633, 642, 827, 839, 923, 1368, 1476, 1479, 1633, 2116, 2585, 2694 e 3678
Não posicionadas(energia em keV): 223, 228, 398, 570, 898, 932, 1361, 1374, 1821, 1898, 2686, 2691 e 2831
4. confirmação de 20 transições- γ no esquema de níveis, a saber(energia em keV): 231, 306, 317, 402, 738, 772, 938, 975, 1037, 1192*, 1291*, 1629, 1991, 2402, 2898*, 2490, 2951, 3067, 3338 e 3341 (* transições- γ não posicionadas).
5. atribuição correta de energia, intensidade relativa e posicionamento das transições- γ de : 112 keV, 1032 keV, 1500 keV, 1519 keV, 1837 keV, 2582 keV e 2785 keV.

6. posicionamento e atribuição de um limite superior para a intensidade da transição- γ de 436 keV.
7. proposta de 5 novos níveis de energia, a saber: 2303 keV, 3067 keV, 3097 keV, 3247 keV e 3419 keV.
8. confirmação de 6 níveis de energia, a saber: 2582 keV, 2940 keV, 2950 keV, 3338 keV, 3565 keV e 3619 keV.
9. tentativa de incorporar ao esquema de decaimento os dubletos a 231 keV e 629 keV, o que sugere a existência do nível a 2694 keV.
10. Não foi possível encontrar evidências experimentais para a existência do nível 3707 keV.

Do ponto de vista experimental, esta investigação acrescentou informações relevantes ao esquema de decaimento do ^{72}Ga e deixou evidente a necessidade de outras medidas como espectroscopia- γ a baixa energia, (<200 keV), correlação angular $\gamma\gamma$ e $\beta\gamma$ e revisão dos valores de $\log ft$.

Espera-se ainda, que os dados obtidos neste trabalho, possam auxiliar os trabalhos teóricos a fim de que se possa estabelecer a interpretação deste núcleo.

Apêndice

Programa Autoc

O programa AUTOC [36] foi desenvolvido para efetuar ajustes de funções lineares nos parâmetros do tipo $y_i = A_j x_i^{j-1}$ onde j = número de parâmetros utilizados e i = números de pontos ajustados. No presente estudo, este programa foi empregado para obtenção da curva de calibração em energia.

A curva de calibração em energia utilizada neste trabalho foi obtida utilizando-se de fontes padrão de ^{152}Eu e ^{56}Co juntamente com a fontes de ^{72}Ge , como descrito em 1.3.3. Este procedimento elimina parte dos erros sistemáticos, já que todos os fotopicos são afetados simultaneamente

Utiliza-se para o ajuste dos dados o método do mínimo quadrado [37,38] através do formalismo matricial. A vantagem desse formalismo é apresentar expressões de forma compacta e de fácil manipulação[39].

Um dos casos mais usuais de aplicação do mínimo quadrado é o de ajuste de funções polinomiais $y = y(x)$, lineares nos parâmetros, por pontos experimentais (x_i, y_i, σ_i) . Neste caso, x_i corresponde a variáveis independentes e y_i , a variáveis dependentes cujos desvios padrões são σ_i . O método dos mínimos quadrados consiste em estimar os parâmetros, minimizando-se a função abaixo em relação a estes parâmetros

$$Q^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - y_a(x_i))^2}{\sigma_i^2} \quad (1)$$

onde:

$$y_a(x_i) = \sum_{j=0}^m a_j x_i^{j-1} \quad (2)$$

é a função ajustada aos pontos experimentais. Na equação (1), n é o número de pontos experimentais e na equação (2), m está relacionado à ordem do polinômio $y(x)$.

A solução do problema do ajuste dos parâmetros a_j da equação (2) é obtida fazendo-se

$$\frac{\partial Q^2}{\partial a_k} = 0, \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

o que permite a obtenção de n equações relacionando os m parâmetros. Substituindo Q^2 da equação (1) em (3), podemos obter a expressão matricial

$$M \cdot A = D \quad (4)$$

onde,

$$M = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^n 1/\sigma_i^2 & \sum_{i=0}^n x_i/\sigma_i^2 & \dots & \sum_{i=0}^n x_i^{m-1}/\sigma_i^2 \\ \sum_{i=0}^n x_i/\sigma_i^2 & \sum_{i=0}^n x_i^2/\sigma_i^2 & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \sum_{i=0}^n x_i^{m-1}/\sigma_i^2 & \sum_{i=0}^n x_i^m/\sigma_i^2 & \dots & \sum_{i=0}^n x_i^{2m-2}/\sigma_i^2 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^n y_i/\sigma_i^2 \\ \sum_{i=0}^n x_i y_i/\sigma_i^2 \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^n x_i^{m-1} y_i/\sigma_i^2 \end{bmatrix}$$

Desta forma

$$A = M^{-1}D \quad (5)$$

onde a covariância dos parâmetros ajustados é dada pela matriz M^{-1}

$$V_a = M^{-1} \quad (6)$$

os desvios padrão dos parâmetros ajustados são dados por:

$$\sigma_{a_i}^2 = (M^{-1})_{ii} \quad (7)$$

e

$$\text{cov}(a_j, a_k) = (M^{-1})_{jk} \quad (8)$$

Na equação (5), a matriz A contém os parâmetros ajustados; a matriz M^{-1} contém as covariâncias entre os parâmetros ajustados e a matriz D é chamada de matriz desenho.

Utilizando-se a notação matricial mostra-se [39] que os parâmetros do polinômio ajustado são obtidos através da equação:

$$A = (X'V^{-1}X)^{-1}X'V^{-1}Y \quad (9)$$

onde :

A é a matriz coluna dos parâmetros ajustados;

X é a matriz que contém os valores das posições dos fotopicos;

Y é a matriz coluna, que contém os valores das energias das transições- γ ;

V é a matriz de covariança entre as energias.

Em correspondência com a equação (5), $M = X'V^{-1}X$ e $D = X'V^{-1}Y$

A matriz de covariança V depende da incerteza na energia (variável dependente) e na posição (variável independente), deste modo se σ_i e σ_{x_i} são as incertezas nas energias e nas posições respectivamente, então V é dado por:

$$V_{ij} \cong (\sigma_i^2 + \alpha_2^2 \cdot \sigma_{x_i}^2) \delta_{i,j} \quad (10)$$

onde α_2 é o segundo parâmetro da função ajustada.

Programa Intercov

O programa Intercov[40] foi desenvolvido para efetuar interpolações e extrapolações de pontos a partir de uma função linear nos parâmetros.

No presente trabalho este programa foi utilizado para fornecer os valores de energias das transições- γ , como descrito na seção I.3.3.

Utilizando-se os parâmetros obtidos através da equação (9), as energias das transições- γ são obtidas a partir da equação:

$$E = X_1 A \quad (11)$$

onde X_1 é uma matriz similar a matriz X da equação (9), e contém os valores das posições dos fotopicos cuja energia deve ser determinada.

A matriz das covariâncias de E é dada por:

$$V_E = X V_A X' + a_2^2 V_{CA} \quad (12)$$

O primeiro termo da equação (12) corresponde a propagação das incertezas dos parâmetros de ajuste e o segundo termo corresponde a propagação das incertezas das posições dos fotopicos, sendo que se a_2 corresponde ao segundo parâmetro ajustado e σ_{ci}^2 a incerteza na posição dos fotopicos, então a matriz V_{CA} é obtida por:

$$(V_{CA})_{i,j} = \sigma_{ci}^2 \delta_{i,j} \quad (13)$$

Programa Inten

O programa Inten [41] foi desenvolvido para calcular a intensidade relativa das transições- γ bem como as covariâncias.

Para efetuar este cálculo, o programa Inten leva em conta o erro na área dos fotopicos, a covariância na energia destas transições- γ e a covariância nos parâmetros da curva de eficiência do detector.

As equações utilizadas para o cálculo das intensidades relativas podem ser encontradas na seção I.3.4. e I.4.3.

As covariâncias da intensidades relativas são obtidas a partir da equação matricial:

$$I_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial I_1}{\partial a} & \dots & \frac{\partial I_1}{\partial d} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial I_N}{\partial a} & \dots & \frac{\partial I_N}{\partial d} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_a^2 & cov_{ab} & \dots & cov_{ad} \\ cov_{ba} & \sigma_b^2 & \dots & cov_{bd} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ cov_{da} & \dots & \dots & \sigma_d^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial I_1}{\partial a} & \dots & \frac{\partial I_1}{\partial d} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial I_N}{\partial a} & \dots & \frac{\partial I_N}{\partial d} \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{\partial I_1}{\partial A_i} & \alpha A_i & \delta_{i,j} \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}}_{II} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{\partial I}{\partial E_i} & \dots & \frac{\partial I}{\partial E_j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \end{bmatrix}}_{III} \quad (14)$$

onde:

I é a matriz de covariância nas N intensidades devido à covariância nos parâmetros (a,b,c,d) da curva de eficiência do detector;

II é a matriz diagonal contendo os erros nas intensidades das transições- γ devido aos erros em suas áreas;

III é a matriz de covariância das intensidades devido à covariância nas energias das transições- γ .

Programa Esquema

O programa Esquema[42] foi desenvolvido para obter as possíveis relações de coincidências entre as transições γ_i e γ_j , verificando se a energia de cada transição- γ é compatível com diferença de energia de níveis, isto é, com seu posicionamento no esquema de níveis.

As possíveis relações são do tipo:

$$E\gamma_i + E\gamma_j = En_k - En_l$$

ou

$$E\gamma_i - E\gamma_j = En_k - En_l$$

onde:

$E\gamma$ é a energia da transição- γ

En é a energia do nível.

Programa Níveis

O programa Níveis[43] foi desenvolvido para calcular a energia dos níveis que compõem o esquema de decaimento, bem como o desvio padrão e a matriz de covariância, utilizando para tanto a energia das transições- γ e seu respectivo posicionamento. Este cálculo leva em consideração a energia de recuo do núcleo.

O procedimento utilizado no programa "Níveis" é análogo ao do programa Autoc.

Bibliografia

- [1] KING, M. M. *Nucl. Data Sheets for A = 72.*, 55(1):1-73, 1989.
- [2] KRAUSHAAR, J. J.; BRUN E.; MEYERHOF, W. E. Decay of gallium 72. *Phys. Rev.*, 101:139-47, 1956.
- [3] CAMP, D. C. Energy levels in ^{72}Ge from the decay of ^{72}Ga and ^{72}As . *Nucl. Phys.*, A121:561-91, 1968.
- [4] RESTER, A. C.; RAMAYYA, A. V.; HAMILTON, J. H.; KRMPOTIC, D. Levels in ^{72}Ge populated by ^{72}Ga . *Nucl. Phys.*, A162:461-80, 1971.
- [5] VANIN, V. R. *Estudo dos decaimentos do ^{101m}Rh e do ^{101f}Rh e estrutura nuclear do ^{101}Ru .* São Paulo, 1984 (Tese de doutoramento, Instituto de Física - Universidade de São Paulo).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. X-RAY AND GAMMA-RAY STANDARDS FOR DETECTOR CALIBRATION. Viena, September 1991. (IAEA-TECDOC - 619).
- [7] GOUFFON, P. *Manual do Programa Idefix.* São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1982.
- [8] GOUFFON, P. *Manual do Programa Ajuste.* São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1987.
- [9] KNOLL, G. F. *Radiation detection and Measurement.* In: *Germanium Gama-Ray detectors.* New York, John Wiley & Sons, 1989. p.434-36.
- [10] HELENE, O. Upper limit of peak area. *Nucl. Instr. Meth.*, 212:319-322, 1983.
- [11] RESTER, A. C.; HAMILTON, J. H.; RAMAYYA, A. V. Decay of ^{72}As to the levels of ^{72}Ge . *Nucl. Phys.*, A162:481-96, 1971.
- [12] COHENCA, J. M. *Manual do Programa de Aquisição Bidi,* São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1983.
- [13] KENCHIAN, G.; VANIN, V.; GOUFFON, P. *MBP - Programa de construção de histograma bidimensional a partir de dados em modo fila bidimensional,* São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1992.
- [14] VANIN, V. *Manual do Programa Panoramix.* São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1988.
- [15] LANDULFO, E. *Medidas de correlação angular direcional gama-gama para transições no ^{72}Ge .* São Paulo, 1992 (Tese de mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN)
- [16] JOHNS, M. W.; CHIDLEU, B. C.; WILLIAMS, I. R. Radioactive decay of ^{72}Ga . *Phys. Rev.*, 99:1645, 1955.
- [17] KREGAR, M. & ELBEK B. Investigation of the low-lying states on ^{72}Ge . *Nucl. Phys.*, A93:49-62, 1967.

- [17] KREGAR, M. & ELBEK B. Investigation of the low-lying states on ^{72}Ge . *Nucl. Phys.*, A93:49-62, 1967.
- [18] VITMAN, V. D.; VOINOVA, N. A.; DZHELEPOV, B. S. Relative intensities of ^{72}Ga γ -lines. *Nucl. Phys.*, 46:368-82, 1963.
- [19] LEBRUN, C.; GUILBAULT, F.; ARDOUIN, D.; FLYNN, E. R.; HANSON, D. L.; ORDESEN, S. D.; ROTBARD, R.; VERGNES, M. N. Study of $^{72,74,76}\text{Ge}$ by the (t,p) reaction. *Phys. Rev.*, C19(4):1224-35, 1979.
- [20] MORAND, C.; BRUANDET, J. F.; CHAMBON, B.; DAUCHY, A.; DRAIN, D.; GIORNI, A.; CHAN, T. U. Niveaux de spin éleve du ^{72}Ge atteints par la reaction $^{70}\text{Zn}(\alpha,2n\gamma)$ À $E_\gamma=30\text{MeV}$. *Nucl. Phys.*, A313:45-76, 1979.
- [21] ROSIER, L. H.; JABBOUR, J.; RAMSTEIN, B.; AVIGNON, P.; TAMISIER, R. Spectroscopy of the $^{70,72}\text{Ge}$ isotopes and structure of low-lying states of the $^{70,72,74,76}\text{Ge}$ isotopes by (p,p') inelastic scattering at 22 MeV. *Nucl. Phys.*, A453:1389-416, 1986.
- [22] ARNS R. G. & WIEDENBECK M. L. Directional correlation of gamma rays in ^{72}Ge . *Phys. Rev.*, 112(1):229-31, 1958.
- [23] CHEN, H.; GARDULSKI, P. L.; WIEDENBECK, M. L. Energy levels and mixing ratios of transitions in ^{72}Ge . *Nucl. Phys.*, A219:365-69, 1974.
- [24] MONAHAN, W. G. & ARNS, R. G. Directional correlation of gamma rays in ^{72}Ge . *Phys. Rev.*, 184(4):1135-41, 1969.
- [25] ARDOUIN, D.; TAMISIER, R.; BARRIER, G.; KALIFA, J.; ROTBARD, G.; VERGNES, M. Study of ^{72}Ge with the $^{71}\text{Ga}(^3\text{He,d})^{72}\text{Ge}$ reaction. *Phys. Rev.*, C11(5):1649-57, 1975.
- [26] ARDOUIN, D.; TAMISIER, R.; VERGNES, M.; ROTBARD, G.; KALIFA, J.; BARRIER, G.; GRAMMATICOS B. Systematics of the proton stripping reaction on $^{69,71}\text{Ga}$, ^{75}As , $^{79,81}\text{Zn}$ isotopes. *Phys. Rev.*, C12(6):1745-61, 1975.
- [27] LECOMTE, R.; IRSHAD, M.; LANDSBERGER, S.; PARADIS, P.; MONARO, S. Evidence of a spherical to prolate transition in the germanium nuclei. *Phys. Rev.*, C22(4):1530-31, 1980.
- [28] RAMAYYA, A. V.; RESTER, A. C.; HAMILTON, J. H.; RAO, P.V. Decay of ^{72}Ga to the levels of ^{72}Ge . *Bull. Am. Phys. Soc.*, 12:510, 1967.
- [29] OTTMAR, H. Z. Untersuchung von Anrkgungszuständen in ^{72}Ge . *Z. Phys.*, 209:44-59, 1968.
- [30] MORDECHAI, S.; FORTUNE, H. T.; MIDDLETON, R.; STEPHANS, G. ^{72}Ge from the $^{70}\text{Ge}(t,p)$ reaction. *Phys. Rev.*, C19:1733-41, 1979.
- [31] ARDOUIN, D.; HANSON, D. L.; STEIN, N. Alpha-particle transfer to 0^+ states in the germanium nuclei and the role of proton pairing correlations. *Phys. Rev.*, C22:2253-57, 1980.

- [32] METZGER, F. R. Nuclear resonance fluorescent in ^{72}Ge and ^{74}Ge . *Phys. Rev.*, 101:286-94, 1956.
- [33] GUILBAULT, G.; ARDOUIN, D.; UZUREAU, J.; AVIGNON, P.; TAMISIER, R.; ROTBARD, G.; VERGNES, M.; DESCHAMPS, U.; BERRIER, G.; SELTZ, R. Levels of $^{70,72,74}\text{Ge}$ excited by the (p,t) reaction. *Phys. Rev.*, C16(5):1840-56, 1977.
- [34] FOURNIER, R.; KROON, J.; HSU, T. H.; HARD, B.; BALL, G.C. The neutron particle structure of the germanium isotopes. *Nucl. Phys.*, A202:1-29, 1973.
- [35] JAHN, R.; WIENANDS, U.; WENZEL, D. P.; NEUMANN-COSEL, P, von. Systematics of nn states with high spin: A study of the ($\alpha,^2\text{He}$) reaction on fp shell nuclei. *Phys. Lett.*, 150B:331-34, 1985.
- [36] MEDEIROS, J. A. G. Programa Autoc. São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN/SP, Laboratório de Estrutura Nuclear, 1992. Comunicação interna.
- [37] KENDALL, M. G. & STUART, A. *The Advanced Theory of Statistics.* v.2. London, Charles. Griffin, 1961.
- [38] EADIE, W. T.; DRIJARD, D.; JAMES, F. E.; ROOS, M.; SADOULET, G. *Statistical Methods in Experimental Physics.* Amsterdam, North Holland, 1971.
- [39] HELENE, O. & VANIN, V. *Tratamento Estatístico de Dados em Física Experimental.* São Paulo, Edgard Blücher, 1981.
- [40] KENCHIAN, G. Programa Intercov. São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1992. Comunicação interna.
- [41] KENCHIAN, G. Programa Inten. São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1992. Comunicação interna.
- [42] KENCHIAN, G. Programa Esquema. São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1992. Comunicação interna.
- [43] KENCHIAN, G. Programa Níveis. São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1992. Comunicação interna..