

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA

Paulo
Este exemplar corresponde à redação
final da tese defendida por Paulo
Esterão Guvinel e aprovada pela
Comissão Julgadora em 12/08/1987
Reynoldo Azevedo Oliv

MINITOMÓGRAFO DE RAIO-X E RAIO-GAMA
COMPUTADORIZADO PARA
APLICAÇÕES MULTIDISCIPLINARES

1987
CAMPINAS, SP., BRASIL

MINITOMÓGRAFO DE RAIOS-X E RAIOS-GAMA
COMPUTADORIZADO PARA
APLICAÇÕES MULTIDISCIPLINARES

POR
PAULO ESTEVÃO CRUVINEL

TESE APRESENTADA À
FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE DOUTOR EM AUTOMAÇÃO

Orientador de
Tese : PROF. DR. SÉRGIO MASCARENHAS OLIVEIRA

Orientadora de
Programa : PROF.^a DR.^a MARIA ADELIA COLLIER FARIAS

1987
CAMPINAS, SP, BRASIL

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

Dedicatória

Aos meus pais

José e Dalila

ESTE TRABALHO FOI REALIZADO COM O APOIO
FINANCEIRO E INSTITUCIONAL DE:

UNICAMP *Universidade Estadual de Campinas*

EMBRAPA *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*

UAPDIA - Unidade de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária

ICTP *International Centre for Theoretical Physics
Trieste - Italy (Programa Italiano de Treinamento e Pesquisa)*

Centro per l'Ingegneria Biomédica - ROMA

*Istituto di Analisi dei Sistemi ed Informática
ROMA*

Ospedale Catinara - TRIESTE

IFQSC-USP *Instituto de Física e Química de São Carlos*

Laboratório de Biofísica e Dosimetria

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Sérgio Mascarenhas Oliveira pela proposição deste trabalho, por sua orientação, dedicação e constante incentivo.

À Profª Drª Maria Adelia Collier Farias por sua orientação e apoio na Universidade Estadual de Campinas.

Ao Prof. Dr. Wang Binseng pelo apoio e colaboração.

Ao Prof. Dr. Silvio Crestana pelo apoio e constante estímulo.

Ao Prof. Dr. Maurício Magalhães pelo apoio e consideração.

Aos Dr. A. Salam, Dr. G. Furlan e Dr. G. Denaro do "International Centre for Theoretical Physics - Trieste" pela oportunidade de treinamento e pesquisa em Laboratórios Italianos.

Ao Prof. Dr. Roberto Cesareo do "Centro per l'Ingegneria Biomedica - Roma" por sua colaboração e especial atenção.

Ao Dr. Roberto P. Mucelli do "Ospedale Catinara - Trieste" e aos pesquisadores Prof. Dr. Alfredo Germani e Prof. Dr. Alberto de Santis do "Istituto di Analisi ed Informatica - Roma" pelo suporte e ajuda no campo computacional.

Ao Prof. Dr. Robert Lee Zimmerman por seu apoio e colaboração.

Ao pesquisador Clovis I. Biscegli, M.Sc., por suas idéias, seu apoio e colaboração.

Ao pesquisador Dr. Mauro H. de Paula por seu apoio e colaboração.

Ao pesquisador Dr. L.A.Colnago por seu apoio e colaboração.

Aos analistas de sistemas Meire dos S. Galvão e Marcos L. Mucheroni pelo apoio e colaboração.

Ao Prof. Dr. Mauro Miskulin, coordenador do Centro de Pós-Graduação da FEC, ao Claudio e às secretárias Vera, Nilce, Denise e Betty pelo apoio e colaboração.

Aos pesquisadores Prof. Dr. Valentim O. Roda, Alberto Tannus, M.Sc., e Mateus J. Martins, M.Sc., e aos técnicos S. Sanches e Isabel Moraes, do Instituto de Física e Química-USP, São Carlos, pelo apoio e colaboração.

Aos técnicos da Embrapa-UAPDIA, Luiz A. Godoy, Renê de oste, Rosenberg J. da Silva e Sebastião Melo pelo apoio e auxílio.

À bibliotecária Vera L.de C. Octaviano, pela ajuda na recuperação bibliográfica.

Aos colegas físicos e engenheiros Antonio M.A. Mathias, Erico S. de Moraes, Paulo S.P.Herrmann, Jadis de Santis, José E. Perez, Roberto P.Oliveira, Luiz F. de Matteo Ferraz, Ladislau M. Rabello, Wilson S. Ferreira e Ladislau Martins, M.Sc., pelo constante incentivo.

À Miriam A. Sawanaka pela compreensão, apoio e solidariedade nos momentos mais difíceis.

Aos amigos do Grupo Terra, Sr. Lazaro, Sr. Osvaldo, Carlinhos, Edmilson e Dino pelo apoio e consideração.

À Ana Maria Felicori, pelos trabalhos de datilografia e ao técnico Valentim Monzane pelos trabalhos de desenho e montagem.

Finalmente agradeço a todo o corpo de professo
res, colegas e funcionários da UNICAMP, bem como a todos os coo
legas e funcionários da Embrapa-UAPDIA, pelo excelente ambieno
te de trabalho.

RESUMO

Esta tese tem como principal resultado o desenvolvimento e a implementação de um minitomógrafo de raio-X e raio- γ computadorizado com possibilidades de aplicações em campos multidisciplinares e em particular a estudos em Física de Solos.

Tal sistema é basicamente constituído por uma mesa mecânica com dois motores de passo para movimentos de rotação e translação, fonte radioativa, colimadores, detector com cristal de NaI(Tl), cadeia de detecção nuclear, interface e microcomputador com duas unidades de disco flexível de 5 1/4", vídeo de alta resolução e impressora gráfica.

O sistema, após funcionamento e avaliações quantitativas, mostrou-se apropriado às aplicações mencionadas.

Utilizando-se do conceito de função transferência de contraste (CTF) foram obtidas, quantitativamente, informações quanto à resolução espacial e qualidade das imagens.

Tal estudo, feito com fonte de raio- γ (^{241}Am) mostra que as imagens obtidas com tamanho de pixel de 1mm e largura do feixe de fótons de 1,2mm são de boa qualidade e, os resultados, com contagens da ordem de 10000, mostraram qualitativamente um adequado contraste da imagem.

Os programas computacionais, isto é, MTACCON, MTACREC e MTACSEC, desenvolvidos em linguagem Pascal, são respectivamente utilizados para controle e aquisição de dados, reconstrução da imagem com algoritmo de retroprojeção filtrada e visualização da secção reconstruída com possibilidades de análise quantitativa do coeficiente de atenuação linear ao longo da imagem.

Fez-se também análises comparativas do minitomógrafo com um tomógrafo médico modelo GECT/T8800, e os resultados mostram-nos que as imagens obtidas com o minitomógrafo preenchem os objetivos de seu uso sendo seu custo significativamente menor.

Tratando-se de uma nova fronteira na instrumentação e na metodologia de pesquisas em solos (já em aplicação na EMBRAPA-UAPDIA), o minitomógrafo mostrou-se adequado para medidas do conteúdo de água e densidade de solos.

Assim, concluímos que a presente tese, além de seus aspectos de pesquisa acadêmica, levou a resultados práticos que representam uma contribuição dentro do contexto de pesquisa aplicada em campos multidisciplinares e em particular aos estudos da Física de Solos.

ABSTRACT

The main result of this thesis is the development, implementation and use of an X-ray and γ -ray computerized minitomography scanner with possible applications in multidisciplinary fields particularly in soil physics.

The hardware is basically a mechanical table with two step motors, one for rotation and another for translation motions, radioactive source, collimators, radiation detector with NaI(Tl) crystal, electronic pulse handling system and microcomputer with two floppy disk-units (5 1/4"), video with high resolution and graphic printer.

Using the concept of Contrast Transfer Function (CTF) we obtained quantitative information on the spatial resolution and image quality of the system.

This study using a γ -ray source (^{241}Am) demonstrates that the images obtained with pixel widths of 1mm and photon beam radii of 1,2mm have good quality as evaluated quantitatively by the CTF. On the other hand, results with a total of 10000 photons counts showed adequate image contrast.

The computational programs were all developed in Pascal language. They are used respectively for control and data collection (MTACCON), image reconstruction with filtered backprojection algorithms (MTACREC) and to show in the video the slice with possibility of quantitative analysis of the linear attenuation coefficient at any chosen region (MTACSEC).

We also compared our computerized minitomography scanner with a medical tomography model GECT/T8800 and the results show that the images obtained with the minitomography scanner are equally adequate for the use in soil physics. Of course the cost of the computerized minitomography scanner is significantly less expensive (approximately 1/50).

We conclude that in addition to applications in academic research our contribution in this thesis is relevant for practical applications in multidisciplinary fields, such as the UAPDIA-EMBRAPA soil physics investigations.

ÍNDICE

pág.

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1	- Histórico e Objetivos do Trabalho	1
1.2	- Interação de Raios-Gama e Partículas Carrega <u>da</u> s com a Matéria	3
1.2.1	- Aspectos Básicos	3
1.2.2	- Interações com a Matéria	4
1.2.3	- Absorção da Radiação Eletromagnética	6
1.2.3.1	- Efeito Compton	6
1.2.3.2	- Efeito Fotoelétrico	13
1.2.3.3	- Produção de Pares	14
1.3	- Outros Processos de Absorção	15
1.4	- Interação de Elétrons Rápidos com a Matéria	16

CAPÍTULO II - TOMOGRAFIA RECONSTRUTIVA COMPUTADORIZADA

2.1	- Introdução	19
2.2	- Histórico da Tomografia Reconstitutiva Compu <u>ta</u> dorizada	19
2.3	- Reconstrução por Simples Retroprojeção	25
2.4	- Reconstrução por Retroprojeção Filtrada	29
2.5	- Modelo Matemático de Reconstrução	31
2.6	- Aspectos Físicos e Instrumentais Associados com a Coleta de Dados em Tomografia Compu <u>ta</u> dorizada	39
2.6.1	- Aspectos Básicos	39
2.6.2	- Estatística de Fótons	40
2.6.3	- Os Detectores de Radiação	44
2.6.3.1	- O Fotocatodo	47
2.6.3.2	- o Sistema Dinodo	48

	pág.
2.6.3.2.1 - Resistência Amortecedora no Circuito do Din <u>o</u> do	49
2.6.3.3 - O Anodo	50
2.6.3.4 - Principais Características	50
2.6.3.4.1 - Resolução	50
2.6.3.4.2 - Estabilidade	51
2.7 - O Novo Método Desenvolvido para Estudos da Física da Água no Solo com Tomografia Compu tadorizada	52
2.8 - As Unidades Medidas pelo Tomógrafo	52

CAPÍTULO III - CIRCUITOS ELETRÔNICOS E SISTEMAS MECÂNICO E ELETROMECHANICO

3.1 - Introdução	54
3.2 - Subdivisão do Sistema Eletrônico, Eletromecâ nico, Mecânico e Nuclear e Análise Específi ca dos Subsistemas	55
3.2.1 - Aspectos Gerais	55
3.2.2 - Subsistema Microcomputador	58
3.2.2.1 - O Microprocessador 6502	59
3.2.2.2 - Possibilidades de Interfaceamento	65
3.2.2.3 - Decodificando a área disponível para Entra da/Saída	73
3.2.2.4 - Adaptador de Interface de Periférico (PIA) .	77
3.2.3 - Subsistema Impressora Gráfica	83
3.2.4 - Subsistema Monitor de Vídeo	84
3.2.5 - Subsistema Drivers	85
3.2.6 - Subsistema Interface para o Microcomputador	87
3.2.6.1 - Definição dos Endereços para os PIA's e os Sinais das Portas PA e PB	87

3.2.7	- Subsistemas Placas de Controle dos Motores de Rotação e Translação	94
3.2.8	- Subsistema Fonte de Alimentação para os Motores de passo e Circuitos Auxiliares	97
3.2.9	- Subsistemas Motores de Passo M_T e M_R	99
3.2.9.1	- Especificações do Motor de Passo SLO-SYN Série M da Superior Electric Company	104
3.2.10	- Subsistema Mesa Tomográfica	106
3.2.11	- Subsistemas Placas de Controles das Posições da Mesa de Rotação e da Mesa de Translação .	108
3.2.12	- Subsistema Fonte de Raio-X e Fonte de Raio-Gama	111
3.2.12.1	- A Fonte de Raio-X	111
3.2.12.1	- A Fonte de Raio-Gama	112
3.2.13	- Subsistema Elemento Fluorescente	113
3.2.14	- Subsistema Colimadores e Trilho Óptico	114
3.2.15	- Subsistema Fonte de Alta Tensão	116
3.2.16	- Subsistema Detector de Radiação	117
3.2.17	- Subsistema Amplificador	119
3.2.18	- Subsistema Monocanal	121
3.2.19	- Subsistema Contador Temporizador	123
3.2.20	- Chaves de Controle de energia Elétrica	130

CAPÍTULO IV - DESENVOLVIMENTO COMPUTACIONAL

4.1	- Introdução	131
4.2	- A Linguagem Pascal	132
4.2.1	- Sumário da Linguagem Pascal	132
4.3	- O Sistema U.C.S.D. Pascal	134
4.4	- O Programa de Controle e Aquisição de Dados MTACCON	135

	pág.
4.4.1 - Fluxograma do Software MTACCON	136
4.4.2 - Listagem Completa do Software MTACCON	145
4.5 - O Programa de Reconstrução de Imagem MTACREC	152
4.5.1 - Fluxograma do Software MTACREC	153
4.5.2 - Listagem Completa do Software MTACREC	158
4.6 - O Programa Gráfico para Visualizar uma Sec ção Reconstruída MTACSEC com Possibilidade de Medidas do Coeficiente de Atenuação Li near ao Longo da Imagem	160
4.6.1 - Fluxograma Geral do Software MTACSEC	161
4.6.2 - Listagem Completa do Software MTACSEC	164

CAPÍTULO V - RESULTADOS EXPERIMENTAIS

5.1 - Introdução	169
5.2 - Interligação dos Subistemas, Calibração do Detector e da Cadeia Nuclear	170
5.2.1 - Interligação e Fiação dos Subistemas Anali sados nos Itens (3.2.2), (3.2.3), (3.2.4), (3.2.5), (3.2.6) e (3.2.11).....	170
5.2.2 - Interligação e Fiação dos Subistemas Anali sados nos Itens (3.2.15), (3.2.16), (3.2.17), (3.2.18) e (3.2.19)	172
5.2.3 - Calibração do Detector e Ajustes da Cadeia Nu clear	174
5.2.4 - Disposição Final de Minitomógrafo de Raio-X e Raio-Gama	175
5.3 - Determinação do Perfil do Feixe de Fótons e Cálculo das Densidades de Fótons ao Longo dos Passos de Translação	178
5.3.1 - Cálculo da Espessura do Feixe de Fótons	178
5.3.2 - Determinação da Densidade de Fótons	182

5.4	- Desempenho do Software e Formas Operacionais	185
5.4.1	- Desempenho e Forma Operacional do Programa MTACCON	188
5.4.2	- Desempenho e Forma Operacional do Programa MTACREC	193
5.4.3	- Desempenho e Forma Operacional do Programa MTACSEC	195
5.5	- Efeitos das Flutuações Estatísticas na Quali- dade das Reconstruções	197
5.5.1	- Resultado com Desvio Padrão $\sigma = \pm(1000)^{\frac{1}{2}}$...	199
5.5.2	- Resultado com Desvio Padrão $\sigma = \pm(10000)^{\frac{1}{2}}$..	200
5.6	- Estudos de Resolução Espacial	201
5.6.1	- Variação do Raio do Feixe de Fótons	201
5.6.1.1	- Resultado com Raio do Feixe de Fótons de 1,2mm	203
5.6.1.2	- Resultado com Raio do Feixe de Fótons de 3,0mm	204
5.6.1.3	- Resultado com Raio do Feixe de Fótons de 6,0mm	205
5.6.1.4	- Análise Quantitativa dos Resultados Apresen- tados nos Itens 5.6.1.1, 5.6.1.2 e 5.6.1.3	206
5.6.2	- Tamanho do Pixel	209
5.6.2.1	- Resultado 1 e 2 com Tamanho de Pixel de 1mm	210
5.6.2.1.1	- Considerando 78 projeções	210
5.6.2.1.2	- Considerando 37 projeções	211
5.6.2.2	- Resultado 3 com Tamanho de Pixel de 2mm	212
5.6.2.3	- Resultado 4 com Tamanho de Pixel de 3mm	213
5.6.2.4	- Análise Quantitativa dos Resultados Apresen- tados nos Itens 5.6.2.1.2, 5.6.2.2 e 5.6.2.3	214
5.6.3	- SPAN ^(*) Angular	217
5.6.3.1	- Resultado 1 com SPAN de 180° e Simetria	218

	pág.
5.6.3.2 - Resultado 2 com SPAN de 180° e Assimetria ..	219
5.6.3.3 - Resultado 3 com SPAN de 360° e Assimetria ..	220
5.7 - Análise Comparativa dos Valores dos Coefi cientes de Atenuação Linear de Amostras de Solo e Água obtidos pelo Método de Transmis são Direta de Raio-Gama e por Minitomografia	221
5.7.1 - Imagem TOMO-PK	222
5.7.2 - Resultado Considerando Duas Projeções $\theta = 0^\circ$ e $\theta = 90^\circ$	223
5.8 - Possibilidades de Aplicação do Minitomógrafo de Raio-X e Raio-Gama em Campos de Origem Multidisciplinar	224
5.8.1 - Medidas do Conteúdo de Água em Solo	224
5.8.1.1 - Tomografia Água	225
5.8.1.2 - Tomografia TOMO-U1	226
5.8.1.3 - Tomografia TOMO-U2	227
5.8.1.4 - Tomografia TOMO-U3	228
5.8.1.5 - Tomografia TOMO-U4	229
5.8.1.6 - Curva de Calibração Coeficiente de Atenuação Linear $\mu(\text{cm}^{-1})$ Versus Conteúdo de Água no So lo $\theta(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$	230
5.8.2 - Medida da Densidade de Solos	231
5.8.2.1 - Tomografia TOMO-CP	232
5.9 - Uso do Tomógrafo Médico GECT/T8800 e Imple mentação de Tomografias com Phantoms para Es tudos Comparativos	233

CAPÍTULO VI - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

6.1 - Introdução	237
6.2 - Discussão dos Resultados	237
6.2.1 - Considerações Quanto ao Desempenho do Minito mógrafo e Comparações com o Tomógrafo Médico	237

		pág.
6.2.2	- Quanto à Qualidade das Imagens	239
6.2.3	- Quanto ao Software do Equipamento	240
6.2.4	- Quanto ao Hardware do Equipamento	241
6.2.5	- Conclusões	241
6.3	- Conclusão Final	243
6.4	- Sugestões para Trabalhos Futuros	244

APÊNDICE I - DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DOS INSTRUMENTOS DA CADEIA DE MEDIDAS NUCLEARES

A.I.1	- Diagrama Esquemático para a Fonte de Alta Tensão	245
A.I.2	- Diagrama Esquemático do Amplificador para Espectroscopia	246
A.I.3	- Diagrama Esquemático do Analisador Monocanal	247
A.I.4	- Diagrama Esquemático do Contador Temporizador	248

APÊNDICE II - MATRIZES DE DADOS

A.II.1	- Matriz de Dados TOMO-PY	249
A.II.2	- Matriz de Dados TOMO-PZ	256
A.II.3	- Matriz de Dados TOMO-F0	263
A.II.4	- Matriz de Dados TOMO-F1	267
A.II.5	- Matriz de Dados TOMO-F2	271
A.II.6	- Matriz de Dados TOMO-R0	275
A.II.7	- Matriz de Dados TOMO-R1	282
A.II.8	- Matriz de Dados TOMO-R2	286
A.II.9	- Matriz de Dados TOMO-R3	287
A.II.10	- Matriz de Dados TOMO-S1	288
A.II.11	- Matriz de Dados TOMO-S2	289
A.II.12	- Matriz de Dados TOMO-S3	290

	pág.
A.II.13 - Matriz de Dados TOMO-PK	291
A.II.14 - Matriz de Dados ÁGUA	299
A.II.15 - Matriz de Dados TOMO-U1	301
A.II.16 - Matriz de Dados TOMO-U2	306
A.II.17 - Matriz de Dados TOMO-U3	311
A.II.18 - Matriz de Dados TOMO-U4	316
A.II.19 - Matriz do Dados TOMO-CP	321
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	324

ÍNDICE DE FIGURAS

pág.

CAPÍTULO I

1.1	- Efeito Compton	7
1.2	- Relação entre θ , ρ e E_1 no Efeito Compton	8
1.3	- Fração da Energia $E_1 = h\nu$ Cedida para Elétron (Escala a Direita) e Fótons (Escala a Esquerda) para Várias Energia E_1 em Função de θ	9
1.4	- Coeficientes Compton: σ_t , σ_s e σ_a em Função de $h\nu$.	11
1.5	- Secção de Choque - Energia para Elétrons ⁽³⁾	12
1.6	- Secção de Choque para Efeito Fotoelétrico	14

CAPÍTULO II

2.1	- Corpo Convexo $\underline{Q}$	21
2.2	- Conjunto Fonte-Detector e Corpo com Vista em Corte	23
2.3	- Divisão em Pixel da Secção Planar e Raio de Largura $\underline{a}$	24
2.4	- Perfil nos Eixos x e y Decorrentes de um Conjunto de Medidas	26
2.5	- O Método de Simples Retroprojeção	26
2.6	- Conceitos Matemáticos para o Método de Simples Retroprojeção	27
2.7	- As Porcentagens de Atenuações e a Imagem da Secção Transversal do Cubo pelo Método de Simples Retroprojeção	28
2.8	- "Efeito Estrela" no Método de Simples Retroprojeção	28
2.9	- Método de Retroprojeção Filtrada	30
2.10	- a) Esquema Simplificado de um Tomógrafo de 1ª Geração b) Projeção de uma Secção Bidimensional de um Corpo Tridimensional	31

2.11 - a) Espaço Real	
b) Espaço Recíproco	33
2.12 - Detector Cintilador Associado a uma Fotomultiplicadora	46
2.13 - Resposta de Diferentes Tipos de Materiais	47
2.14 - Oscilações da Corrente Anódica	
a) Sem Resistência Amortecedora	
b) Com Resistência Amortecedora	49

CAPÍTULO III

3.1 - Diagrama de Blocos do Minitomógrafo de Raio-X e Raio-Gama Computadorizado	56
3.2 - Diagrama de Blocos da Arquitetura do Microprocessador 6502	60
3.3 - Diagrama Temporal do Microprocessador 6502	63
3.4 - Pinagem do Microprocessador 6502	64
3.5 - Pinagem dos Slots	67
3.6 - Lay-Out para Acessar Dispositivos com o Micro Engenho ²	72
3.7 - Um 74LS138 é utilizado para produzir sinais de seleção no Micro Engenho ²	73
3.8 - Decodificação para Dispositivos de E/S	74
3.9 - Lay-out para Acessar Dispositivos de E/S na Faixa de Endereços de \$C000 a \$C7FF	75
3.10 - Lay-Out para Acessar Dispositivos de E/S na Faixa de Endereços de \$C080 a \$C0FF	76
3.11 - Interfaces para Dispositivos de Entrada e Saída usando PIA	77
3.12 - Arquitetura Interna da PIA	79
3.13 - Pinagem do PIA 6821	80

3.14 - Diagrama Esquemático da Interface	93
3.15 - Sinais Gerados pela Placa de Controle dos Motores e Sinal de Clock Gerado por Software	95
3.16 - Diagrama Esquemático de um dos Subsistemas de <u>Con</u> trole dos Motores de Passo	96
3.17 - Fonte de Alimentação para os Motores de Passo e Circuitos Auxiliares	98
3.18 - Tipos de Enrolamentos em Motores de Passo ímã-Per <u>manente</u>	100
3.19 - Operação de um Motor de Passo de ímã-Permanente de Oito Fases	101
3.20 - Curva Típica de um Motor de Passo	102
3.21 - Forma de Onda para a Lógica de Excitação "Two-Phase Drive"	103
3.22 - Diagrama Esquemático para o Motor de Passo SLO-SYN	104
3.23 - Em a) Seqüência para Resolução de $1,8^\circ$ Em b) Seqüência para Resolução de $0,9^\circ$	105
3.24 - Mesa Tomográfica	107
3.25 - Diagrama Esquemático das Placas de Controle de <u>Posi</u> ção das Mesas de Rotação e Translação	109
3.26 - Diagrama Temporal dos Sinais da Placa de Controle (Tensão x Tempo) das Posições das Mesas de <u>Rota</u> ção e Translação	110
3.27 - Fonte de Raio-Gama ^{241}Am	113
3.28 - Suporte para Elemento Fluorescente	114
3.29 - Colimadores, Suportes e Trilho Óptico	115

	pág.
3.30 - Relação Pico/Vale	117
3.31 - Curva de Transmissão	118
3.32 - Quadro de Alimentação de Energia Elétrica AC	130

CAPÍTULO V

5.1 - Primeiro Diagrama Esquemático de Interligações e Fiação	171
5.2 - Segundo Diagrama Esquemático de Interligações e Fiação	173
5.3 - Patamar do Detector de NaI(Tl)	174
5.4 - Disposição Final da Mesa Tomográfica	176
5.5 - Disposição Final dos Subsistemas de Controle e Aquisição de Dados e Subsistemas de Processamento	177
5.6 - Disposição Fonte-Anteparo-Detector	178
5.7 - Determinação do Raio do Feixe de Fótons a uma Distância de 65mm da Fonte e Colimador com Janela de 2mm	180
5.8 - Perfil do Feixe ao Longo do Percorso Fonte-Detector com Colimador de 2mm	181
5.9 - Vista Frontal do Feixe de Fótons e Áreas $A_n(x)$..	182
5.10 - Vista de Topo do Posicionamento do Corpo na Mesa Tomográfica onde ΔL é o Passo de Translação e R_M tem Valor $n \frac{\Delta L}{2}$	190
5.11 - Imagem Genérica de um Phantom	196
5.12 - Imagem TOMO-PY $\sigma = \pm(1000)^{\frac{1}{2}}$	199
5.13 - Imagem TOMO-PZ $\sigma = \pm(10000)^{\frac{1}{2}}$	200
5.14 - Phantom para Estudos de Resolução Espacial	202
5.15 - Ilustra a Imagem TOMO-F0	203

	pág.
5.16 - Ilustra a Imagem TOMO-F1	204
5.17 - Ilustra a Imagem TOMO-F2	205
5.18 - $\mu(\ell, \theta)$ Versus ℓ para a Imagem TOMO-F0, Raio de 1,2mm	206
5.19 - $\mu(\ell, \theta)$ Versus ℓ para a Imagem TOMO-F1, Raio de 2,0mm	207
5.20 - $\mu(\ell, \theta)$ Versus ℓ para a Imagem TOMO-F2, Raio de 4,0mm	207
5.21 - Função Transferência de Contraste e Corresponden <u>te</u> Desvio Padrão σ para os Feixes de Fótons com Raio de 1,2, 2,0 e 4,0mm	208
5.22 - Ilustra a Imagem TOMO-R0	210
5.23 - Ilustra a Imagem TOMO-R1	211
5.24 - Ilustra a Imagem TOMO-R2	212
5.25 - Ilustra a Imagem TOMO-R3	213
5.26 - $\mu(\ell, \theta)$ Versus ℓ para a Imagem TOMO-R1 com Pixel de 1mm^2	214
5.27 - $\mu(\ell, \theta)$ Versus ℓ para a Imagem TOMO-R2 com Pixel de 2mm^2	215
5.28 - $\mu(\ell, \theta)$ Versus ℓ para a Imagem TOMO-R3 com Pixel de 3mm^2	215
5.29 - Função Transferência de Contraste e Corresponden <u>te</u> Desvio Padrão σ para Pixel de 1,0; 2,0 e 3,0mm ²	216
5.30 - Ilustra a Imagem TOMO-S1	218
5.31 - Ilustra a Imagem TOMO-S2	219
5.32 - Ilustra a Imagem TOMO-S3	220
5.33 - Ilustra a Imagem TOMO-PK	222
5.34 - $\mu(\ell, \theta)$ como Função de ℓ ; Projeções de Ângulo $\theta=0^\circ$ e $\theta=90^\circ$	223

5.35 - Imagem Água	
$\hat{\mu}_{\text{Água}}^{\text{MT}} = 0,1817\text{cm}^{-1}$ com Desvio Padrão de $\pm(0,0002)$	225
5.36 - Imagem TOMO-U1	
O Conteúdo da Água Presente é de 0,8% $\hat{\mu} = 0,4294$ cm^{-1} ; E = 59,9KeV	226
5.37 - Imagem TOMO-U2	
O conteúdo da Água Presente é de 10%; $\hat{\mu} = 0,4516$ cm^{-1} ; E = 59,9KeV	227
5.38 - Imagem TOMO-U3	
O Conteúdo de Água Presente é de 20%; $\hat{\mu} = 0,4634$ cm^{-1} ; E = 59,9KeV	228
5.39 - Imagem TOMO-U4	
O Conteúdo de Água Presente é de 30%; $\hat{\mu} = 0,4812$ cm^{-1} ; E = 59,9KeV	229
5.40 - Curva de Calibração $\mu(\text{cm}^{-1})$ Versus $\theta(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$	
$\mu = 0,170 + 0,43$; $r^2 = 0,9829$	230
5.41 - Imagem TOMO-CP: Solo com Diferentes Densidades	
$\hat{\mu}_1 = 0,3765\text{cm}^{-1}(\rho_1 = 1,015\text{g}/\text{cm}^3)$; $\hat{\mu}_2 = 0,3970\text{cm}^{-1}$ $(\rho_2 = 1,311\text{g}/\text{cm}^3)$; $\hat{\mu}_3 = 0,4081\text{cm}^{-1}(\rho_3 = 1,350\text{g}/\text{cm}^3)$ $\hat{\mu}_4 = 0,4597\text{cm}^{-1}(\rho_4 = 1,382\text{g}/\text{cm}^3)$	232
5.42 - Imagens com o Tomógrafo Médico GECT/T8800	234

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 - HISTÓRICO E OBJETIVOS DO TRABALHO

A presente tese faz parte dos esforços de um grupo de pesquisadores instalados em São Carlos, na Embrapa-UAPDIA^(*), coordenados pelo Prof. Dr. Sérgio Mascarenhas com objetivos de proporcionar ferramentas à instrumentação nacional sob forma multidisciplinar e mais especificamente à instrumentação agropecuária.

Historicamente, em 1978 quando então eu cursava o terceiro ano de Engenharia na Fundação Educacional de Barretos, tive a oportunidade de participar de um grupo de estudos ligado à disciplina Estrutura da Matéria ministrado pelo Prof. Dr. Silvío Crestana. Tal grupo estudou na época interações instrumentais associadas à problemas do campo da física, em particular com efeito fotoelétrico.

A partir daquela época, nosso interesse por trabalhos multidisciplinares acentuou-se bastante.

Posteriormente, já no quarto ano de Engenharia, tive a oportunidade de atuar como monitor da disciplina em enfoque.

Desta forma, monitor por mais um ano e entusiasmado com a carreira científica tive o interesse de cursar Pós-Graduação, o que ocorreu mais tarde.

Por outro lado, em 1982, exatamente no dia 02 de janeiro, em Piracicaba, no CENA-USP^(**), estava sendo realizada

(*) Embrapa-UAPDIA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Unidade de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária, São Carlos-SP

(**) CENA-USP: Centro de Energia Nuclear na Agricultura - Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP

uma reunião onde discutia-se a necessidade da criação de um Centro Emergente na Fundação Educacional de Barretos, o qual veio a ser implantado posteriormente com um grupo de natureza multi disciplinar, onde sua principal característica foi a complemen tação de áreas de conhecimento.

Naquele dia, 02 de janeiro de 1982, vim a conhecer o Prof. Dr. Sérgio Mascarenhas, fato este que foi proporcionado pelo apoio do Prof. Dr. Silvio Crestana, o qual viabilizou tal contato.

O presente trabalho foi realizado dentro do curso de Pós-graduação da UNICAMP - Departamento de Enge nharia Elétrica, contando com a atuação da Profª Drª Maria Adé lia Collier Farias, como orientadora de programa.

Em particular, foi desenvolvido um minitomógrafo de raio-X e raio- γ , computadorizado para uso multidiscipli nar, assumindo assim, um caráter de contribuição para o desen volvimento de instrumentação nacional, bem como apoio a uma tec nologia brasileira.

Tal desenvolvimento contou também com o essencial apoio do Prof. Dr. Roberto Cesareo, do Centro de Engenharia Bio médica da Universidade de Roma⁽¹⁾.

O minitomógrafo de raio-X e raio- γ , computadori zado, é um trabalho de origem multidisciplinar, tanto quanto ao seu projeto propriamente dito, como também às suas possíveis aplicações.

Com relação ao projeto, este envolve não só os campos da física nuclear, mecânica e matemática como também instrumentação eletrônica, automação e computação.

Quanto as suas possíveis aplicações, estas podem ser nos campos da Arqueologia, Engenharia Industrial, Medicina, Física de Solos e Biologia.

Seu custo, comparado a um tomógrafo médico comercial, é significativamente menor, estimado ser da ordem de cinquenta vezes menor, uma vez que trata-se de um instrumento compacto, para trabalhar em aplicações dedicadas.

A coleta de dados e o controle da mesa tomográfica são automatizados e o processamento de imagem é feito posteriormente á coleta de dados. Utilizou-se um microcomputador com unidade central de processamento da MOS Technology, isto é o microprocessador 6502 para o controle e processamento do fluxo de informações do sistema.

1.2 - INTERAÇÃO DE RAIOS-GAMA E PARTÍCULAS CARREGADAS COM A MATÉRIA

1.2.1 - ASPECTOS BÁSICOS

As radiações são normalmente capazes de ionizar a matéria diretamente, ou através da ação de alguma radiação secundária. A ionização ocorre quando uma quantidade de energia é cedida ao material irradiado, ejetando elétrons dos átomos das moléculas.

Existem vários tipos de fontes de radiação das quais citamos algumas:

- a) Materiais radioativos emissores de partículas α , β , nêutrons e raios- γ
- b) Reatores de fissão nuclear como fonte de nêutrons e raios- γ .

c) Equipamentos de raio-X ou aceleradores de média ou baixa tensão, os quais geram raio-X, elétrons e íons de hidrogênio ou hélio com energias abaixo de 20 a 30MeV.

O trabalho com estes tipos de radiação ionizantes requer o entendimento de suas interações com a matéria.

Serão analisados neste trabalho a interação de radiações eletromagnéticas de raios-X e raios- γ com a matéria.

1.2.2 - INTERAÇÕES COM A MATÉRIA

Considerando a frequência e o comprimento de onda associados com a natureza ondulatória da radiação, normalmente diz-se que a radiação eletromagnética é constituída de fótons de energia E e momentum p dados pelas relações (I-1) e (I-2).

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (I-1)$$

$$p = h \frac{\nu}{c} = \frac{E}{c} \quad (I-2)$$

sendo que h, ν , c e λ são respectivamente a constante de Planck, a frequência, a velocidade da luz e o comprimento de onda.

Podem ser várias as formas da interação de tais fótons com a matéria, isto é, pode ser por absorção, espalhamento, ionização e excitação dos átomos e conversão de um tipo de radiação em outro.

Tais fenômenos de interação são evidenciados pela colisão do fóton com o núcleo, elétrons orbitais, partículas livres ou o campo que envolve tais partículas.

Esses quatro modos de colisão juntamente com os três tipos de choques ou seja, o elástico, o inelástico e absorx

ção total de energia, fornecem os doze processos mais importantes de interação do fóton com a matéria.

A secção de choque por átomo, por elétron ou por núcleo absorvedor expressa a probabilidade de ocorrência de cada um dos processos.

A soma de todas as secções de choques normalizadas por átomo é então, a probabilidade do fóton incidente ter um dos tipos de interação ao passar por um absorvedor que contém um átomo por cm^2 de área normal ao fóton incidente.

Desta forma, o coeficiente de absorção linear μ por centímetro percorrido no absorvedor pode ser obtido, fazendo o produto daquela probabilidade total de colisão por átomo e o número de átomos por centímetro cúbico do absorvedor.

A fração dos fótons incidentes que atravessam um absorvedor homogêneo de espessura x , é fornecida pela expressão (I-3):

$$\frac{N}{N_0} = \exp(-\mu x) \quad (\text{I-3})$$

onde N_0 é o número de fótons incidentes e N , o número de fótons transmitidos.

O coeficiente de atenuação de massa é dado pela expressão (I-4):

$$\mu_s = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{I-4})$$

onde ρ é a densidade do material.

Há três diferentes tipos principais de mecanismos os quais conduzem à absorção da radiação eletromagnética, em trabalhos com tomografia. São eles:

- a) Efeito Compton
- b) Efeito Fotoelétrico
- c) Produção de Pares

Sendo que o efeito de produção de pares não é muito evidenciado em razão da energia normalmente utilizada, conforme veremos a seguir, não apresentar valores elevados.

Assim, o coeficiente de absorção linear total poderá ser calculado como sendo a soma dos coeficientes lineares parciais decorrentes dos três principais efeitos mencionados, isto é: (2)

$$\mu_{\text{total}} = \mu_{\text{Compton}} + \mu_{\text{Fotoelétrico}} + \mu_{\text{produção de pares}} \quad (I-5)$$

1.2.3 - ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

1.2.3.1 - EFEITO COMPTON

Neste efeito há a interação do fóton com elétrons orbitais, sendo que estes devem ser considerados elétrons livres e para tanto, a energia do fóton incidente deverá ser muito maior que a sua energia de ligação.

Esta interação pode ser analisada como uma colisão elástica entre o fóton primário e o elétron. Neste caso considerado, a energia do fóton incidente é inteiramente transmitida ao elétron e ao fóton secundário.

A figura (1.1) mostra o efeito Compton sob forma esquemática.

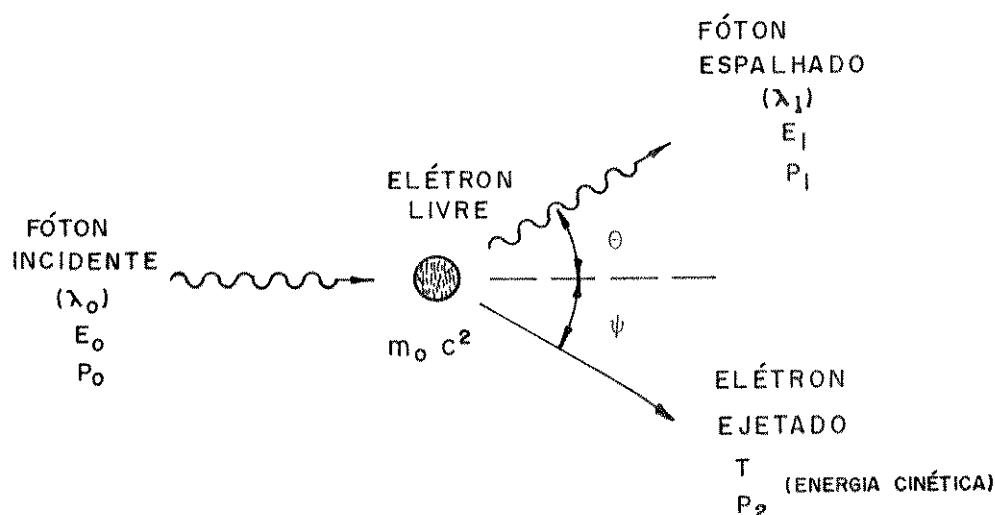


Figura (1.1) - Efeito Compton

Pela conservação do momentum, chega-se à expressão (I-6)

$$(\lambda_1 - \lambda_2) = \lambda_c [1 - \cos(\theta)] \quad (I-6)$$

onde λ_1 , λ_2 , são respectivamente os comprimentos de onda do fóton incidente, do fóton espalhado e λ_c é o comprimento de onda Compton do elétron.

Devido a serem muitos os parâmetros inter-relacionados no Efeito Compton, torna-se complicado visualizar o fenômeno através de equações.

Assim, é comum a análise gráfica da equação, considerando-se sempre algum parâmetro constante. Observa-se que para $\theta = 180^\circ$, tem-se $\psi = 0^\circ$ e para $\theta = 0^\circ$ tem-se $\psi = 90^\circ$, portanto a direção do fóton espalhado varia de $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ em

relação à direção do fóton incidente, e a direção do elétron varia de $0^\circ \leq \psi \leq 90^\circ$.

A Figura (1.2) mostra a relação entre ângulos (θ) e (ψ) para várias energias $E_1 = h\nu$ ⁽³⁾.

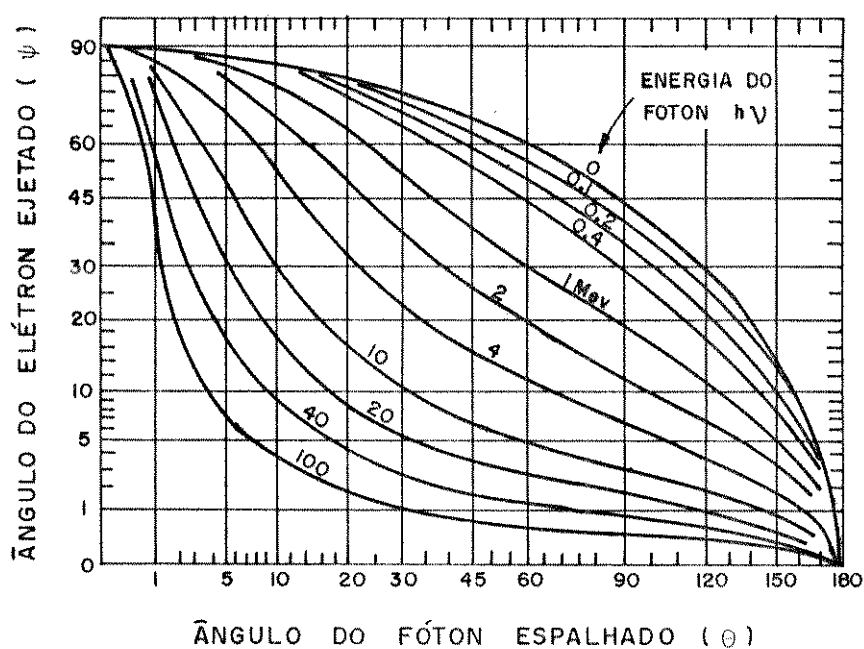


Figura (1.2) - Relação entre θ , ψ , e E_1 no Efeito Compton

A equação (1-6) mostra a variação do comprimento de onda do fóton espalhado em função do ângulo θ .

A Figura (1.3) mostra as frações de energia total cedida dos elétrons ejetados e aos fótons espalhados, em função do ângulo θ , para várias energias E_1 do fóton incidente⁽³⁾.

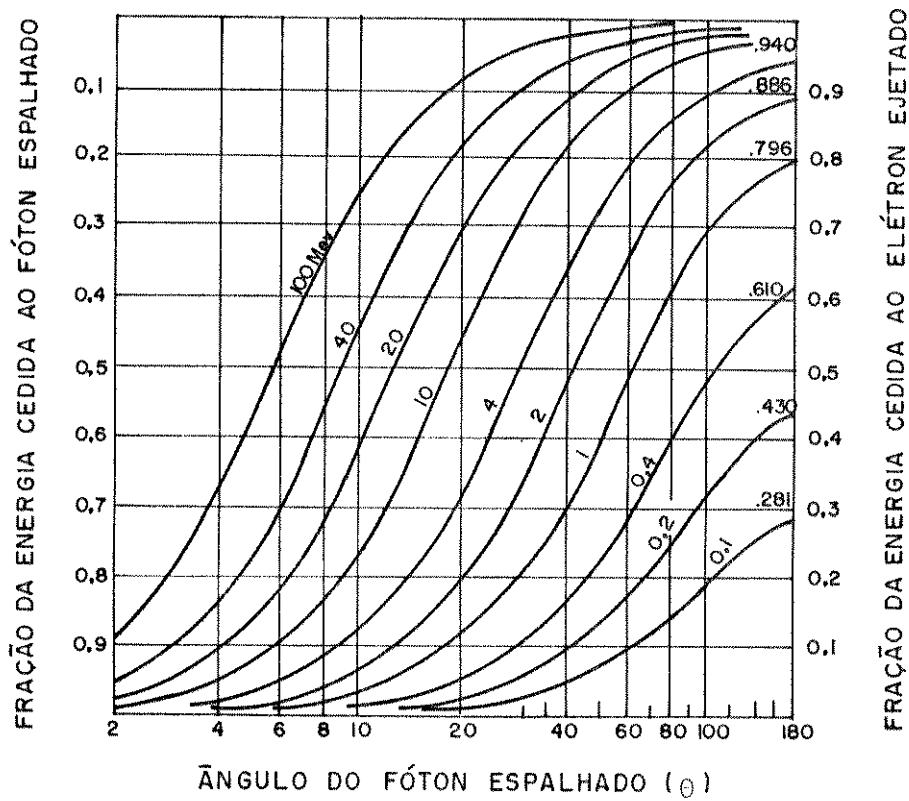


Figura (1.3) - Fração da energia $E_1 = h\nu$ cedida para elétron (escala a direita) e fótons (escala a esquerda) para várias energias E_1 em função de θ .

As Figuras (1.2) e (1.3) fornecem todas as informações necessárias, referentes ao processo de interação Compton, se uma das variáveis for conhecida.

Cálculos quânticos de Klein e Nishina⁽⁴⁾ mostram que a derivada da secção de choque para o número de fótons espalhados dentro de um ângulo sólido Ω , unitário em um ângulo θ por elétrons de um material, é dado pela equação (I-7).

$$\frac{d[e_{\sigma t}]}{d\Omega} = \frac{e^4}{2m_0^2 c^4} \left[\frac{1}{1+\alpha(1+\cos\theta)} \right]^2 \left[1+\cos^2(\theta) + \frac{\alpha^2(1-\cos\theta)^2}{1+\alpha(1-\cos\theta)} \right] \quad (I-7)$$

onde $\alpha = \frac{h\nu}{m_0 c^2}$ representa a energia do fóton em função da energia do elétron em repouso e $e_{\sigma t}$ refere-se ao coeficiente Compton total.

No efeito Compton, o fóton espalhado adquire uma fração da energia original, isto é:

$$\frac{h\nu'}{h\nu} = \frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos\theta)} \quad (I-8)$$

logo, a derivada da secção de choque, para fótons espalhados por elétrons por unidade de ângulo sólido é obtida multiplicando a equação (I-7) pelo fator $\frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos\theta)}$

portanto

$$\frac{d[e_{\sigma s}]}{d\Omega} = \frac{e^4}{2m_0^2 c^4} \left[\frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos\theta)} \right]^3 \left[1 + \cos^2(\theta) + \frac{\alpha^2 (1 - \cos\theta)^2}{1 + \alpha(1 - \cos\theta)} \right] \quad (I-9)$$

onde $e_{\sigma s}$ refere-se à energia espalhada.

Integrando-se as equações (I-7) e (I-9) obtêm-se os coeficientes Compton total e de espalhamento, respectivamente.

Assim, após a integração teremos:

$$e_{\sigma t} = \frac{2\pi e^4}{m_0^2 c^4} \left\{ \frac{1+\alpha}{\alpha^2} \left[\frac{2(1+\alpha)}{1+2\alpha} - \frac{\ln(1+2\alpha)}{\alpha} \right] + \frac{\ln(1+2\alpha)}{2\alpha} - \frac{1+3\alpha}{(1+2\alpha)^2} \right\} \quad (I-10)$$

$$e_{\sigma s} = \frac{2\pi e^4}{m_0^2 c^4} \left\{ \frac{4\alpha^2}{3(1+2\alpha)^3} - \frac{(1+\alpha)}{\alpha^2(1+2\alpha)^2} \left[1+2\alpha-2\alpha^2 \right] + \frac{1}{2\alpha^3} \ln(1+2\alpha) \right\} \quad (I-11)$$

O verdadeiro coeficiente Compton e de absorção pode ser calculado fazendo-se a diferença entre esses dois coeficientes, isto é:

$$e_{\sigma a} = \frac{2\pi e^4}{m_0^2 c^4} \left[\frac{2(1+\alpha)^2}{\alpha^2(1+2\alpha)} - \frac{1+3\alpha}{(1+2\alpha)^2} + \frac{(1+\alpha)(1+2\alpha-2\alpha^2)}{\alpha^2(1+2\alpha)^2} - \frac{4\alpha^2}{3(1+2\alpha)^3} - \left(\frac{1+\alpha}{\alpha^3} - \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{2\alpha^3} \right) \ln(1+2\alpha) \right] \quad (I-12)$$

A Figura (1.4) mostra um gráfico que relaciona os coeficientes σ_t , σ_s e σ_a em função da energia do fóton.

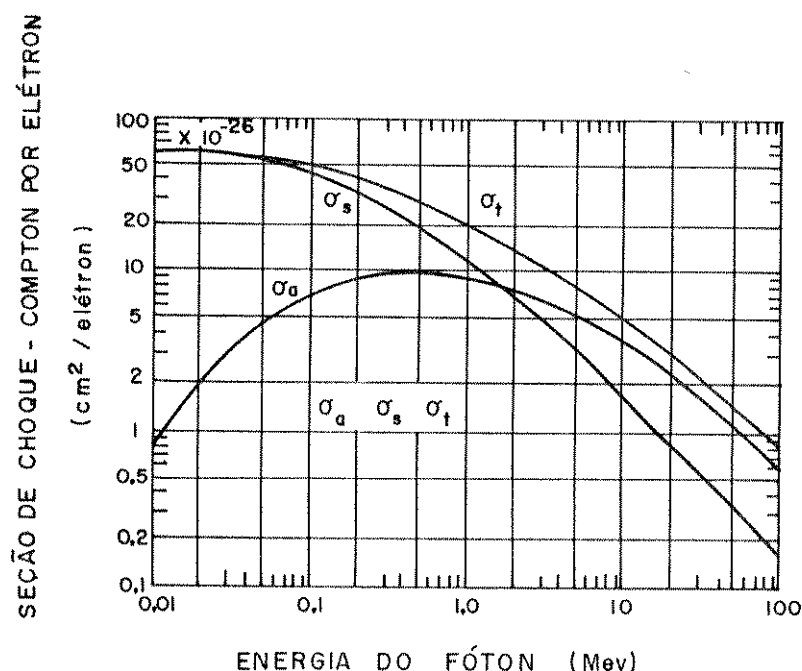


Figura (1.4) - Coeficientes Compton: σ_t , σ_s e σ_a em função de $h\nu$.

Em baixas energias o coeficiente σ_t é praticamente igual ao coeficiente σ_s de espalhamento, isto porque nesta faixa, a energia dos elétrons é muito pequena. O coeficiente real de absorção σ_a é pequeno em baixas energias, passa por um máximo e aproxima-se bastante de σ_t em 100 MeV.

Cálculos feitos⁽³⁾ mostram que a seção de choque $\frac{d[\sigma_e(T)]}{dT}$ para o número de elétrons com energia cinética entre (T) e $(T + dT)$ espalhados, por elétrons do material, é dada pela expressão (I-13), isto é:

$$\frac{d[\sigma_e(T)]}{dT} = \frac{\pi e^4}{m_o^2 c^4} \left(\frac{1}{\alpha h \nu} \right) \left[1 + \cos^2(\theta) + \frac{\alpha^2 (1 - \cos \theta)^2}{1 + \alpha (1 - \cos \theta)} \right] \quad (I-13)$$

A Figura (1.5) mostra graficamente esta secção de choque.

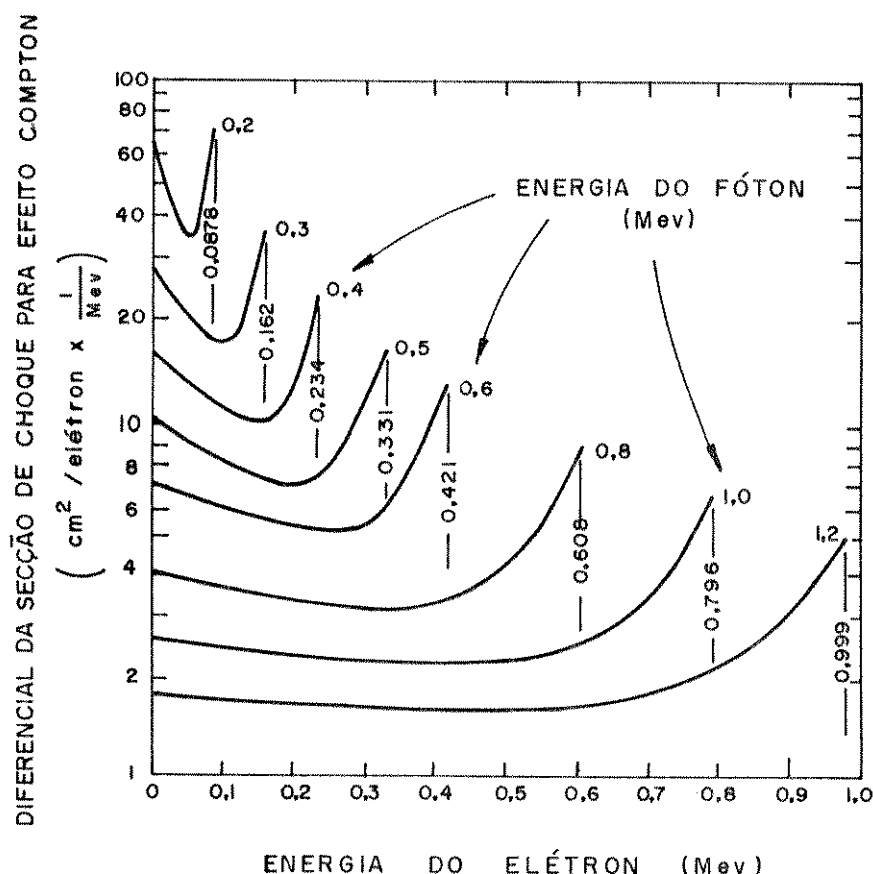


Figura (1.5) - Secção de choque - Energia para elétrons⁽³⁾.

Seja por exemplo a curva cuja energia do fóton é 1,0 MeV, observa-se que pode-se ter elétrons ejetados com energia variando até 0,796 MeV, cujas probabilidades são obtidas nos eixos verticais, e elétrons com energias máximas têm maior probabilidade de serem ejetados.

No efeito Compton o processo independe do número atômico Z , pois a interação ocorre entre os fótons e os elétrons livres. Assim, todos os materiais absorvem essencialmente a mesma quantidade de radiação por elétron. Como a maioria dos materiais possui aproximadamente o mesmo número de elétrons por grama, a absorção Compton por grama será praticamente a mesma para todos os materiais.

1.2.3.2 - EFEITO FOTOELÉTRICO

A emissão de elétrons de uma superfície, devida à incidência de luz sobre essa superfície, é chamada de Efeito Fotoelétrico.

Este elétron ejetado do átomo é chamado fotoeletron.

A interação dos fótons de baixa energia com os elétrons do material é por colisão direta.

Estes fotoelétrons podem ser ejetados de várias camadas do átomo, e sua energia cinética T , é dada pela equação de Einstein:

$$T = h\nu - \phi \quad (\text{I-14})$$

onde $h\nu$ e ϕ são respectivamente a energia do fóton e a energia de ligação do elétron no átomo.

Este efeito somente ocorre se a energia do fóton for maior que a energia de ligação do elétron ao átomo.

Neste efeito, o átomo inteiro participa da interação, logo o efeito é descrito pela seção de choque atômica a^τ [$\text{cm}^2/\text{átomo}$].

Para um longo intervalo de energia, não há uma simples equação para descrever o processo⁽⁵⁾, e de modo geral:

$$a^\tau = \text{const} \cdot \frac{Z^4}{(h\nu)^3} \quad (\text{I-15})$$

Assim tem-se que a alta dependência entre (Z) e (a^τ) é a principal característica do efeito fotoelétrico.

A Figura (1.6) caracteriza a variação de a^τ com a energia⁽³⁾.

A ejeção de um fotoelêtron deixa o átomo do absorvedor em estado excitado.

Quando porém um elétron externo retorna ao átomo, ele emite radiação fluorescente.

Portanto, além da energia T dada em (I-14) emitida pelo processo fotoelétrico, há também a emissão de um fóton de energia ϕ .

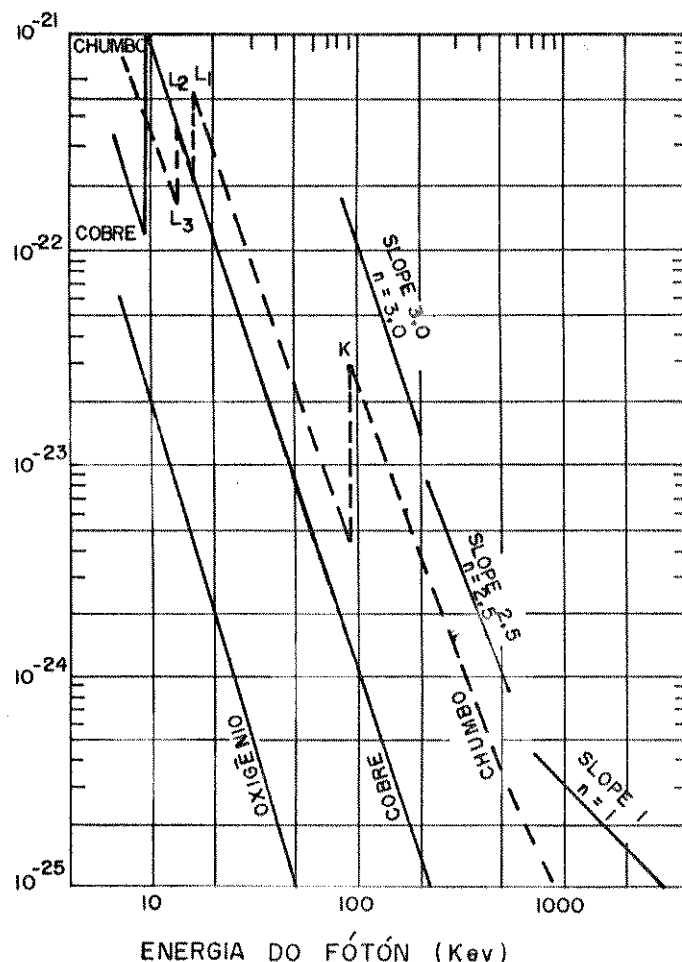


Figura (1.6) - Secção de choque para efeito fotoelétrico

1.2.3.3 - PRODUÇÃO DE PARES

Um fóton interagindo com o campo elétrico que envolve uma partícula carregada, pode desaparecer, criando um par elétron-positron.

Para que este efeito ocorra é necessário que o fóton tenha no mínimo duas vezes a energia de repouso de um

elétron (1,022 MeV), para que a interação seja energeticamente possível⁽⁶⁾. Tem-se no campo do núcleo:

$$h\nu = (T^+) + (T^-) + (2m_0c^2) \quad (I-16)$$

onde (T^+) e (T^-) são respectivamente as energias cinéticas do positron e do elétron.

Se a produção de pares ocorrer no campo de um elétron, a energia do fóton deverá ser $4m_0c^2$ e, o elétron absorverá grande parte desta energia⁽⁷⁾.

O positron, logo após a sua formação, interage com um elétron, formando o "positrônio" o qual pode, por exemplo, decair produzindo dois fótons de energias 0,51 MeV.

A expressão analítica da secção de choque para este processo é complexa, porém pode-se fazer algumas aproximações dependentes da energia.

Nas vizinhanças de 1MeV tem-se:

$$K_a \approx NZ^2(h\nu - 2m_0c^2) \quad (I-17)$$

e nas altas energias⁽⁸⁾⁽⁹⁾

$$K_a \approx NZ^2 \ln(h\nu) \quad (I-18)$$

pelas equações (I-17) e (I-18), observa-se a alta dependência do número atômico e a fraca dependência da energia.

1.3 - OUTROS PROCESSOS DE ABSORÇÃO

Outros processos tais como o efeito foto nuclear, onde a secção de choque aumenta rapidamente com a energia, passa por um máximo e depois diminui com $h\nu$, ocorrem com pequena probabilidade.

Abaixo de 10 MeV a probabilidade do efeito foto nuclear é totalmente desprezível⁽⁵⁾.

1.4 - INTERAÇÃO DE ELÉTRONS RÁPIDOS COM A MATÉRIA

As radiações γ e X podem transferir toda, ou parte de sua energia a elétrons dentro de um meio considerado.

O comportamento desses elétrons secundários é semelhante ao dos elétrons rápidos das radiações β . O poder de freamento linear S para uma partícula carregada é definido por

$$S = - \frac{dE}{dL} \quad (I-19)$$

onde dE e dL são respectivamente a energia perdida pela partícula ao atravessar a distância dL de um determinado absorvedor⁽¹⁰⁾ e a distância considerada.

A expressão de Bethe (I-20) descreve a perda por colisão para elétrons rápidos (perda específica de energia de vida à ionização e excitação) isto é:

$$- \left(\frac{dE}{dL} \right)_e = \frac{2\pi e^4 N Z}{m_o v^2} \left[\ln \frac{m_o v^2 E}{2 I^2 (1 - \beta^2)} - \ln 2(2 \sqrt{1 - \beta^2} - 1 + \beta^2) + \right. \\ \left. + (1 - \beta^2) + \frac{1}{8} (1 - \sqrt{1 - \beta^2})^2 \right] \quad (I-20)$$

onde:

v = velocidade do elétron

N = número de átomos por cm do absorvedor

Z = número atômico do absorvedor

m_o = massa do elétron em repouso

I = constante experimental relacionando os potenciais de ex
citação e ionização do absorvedor

e = carga do elétron

$\beta = \frac{v}{c}$ sendo c a velocidade da luz

Pode também haver perda de energia dos elétrons por processos radioativos ou interações Coulombianas. Essa perda radioativa consiste na emissão de radiação eletromagnética durante o seu percurso. A perda linear de energia por esse processo é dada por⁽¹⁰⁾

$$- \left(\frac{dE}{dL} \right)_r = \frac{NEZ(Z+1)e^4}{137m_o^2c^4} \left(4 \ln \frac{2E}{m_o c^2} - \frac{4}{3} \right) \quad (I-21)$$

Os fatores E e Z^2 no numerador ilustram a importância desse efeito para elétrons de alta energia e absorvedores de alto Z . O poder de freamento total para elétrons é a soma das perdas radioativas e por colisão.

$$\frac{dE}{dL} = \left(\frac{dE}{dL} \right)_r + \left(\frac{dE}{dL} \right)_c \quad (I-22)$$

E, a relação entre os dois tipos de perda de energia é dado aproximadamente por:

$$\frac{\left(\frac{dE}{dL} \right)_r}{\left(\frac{dE}{dL} \right)_c} = \frac{EZ}{700} \quad (I-23)$$

onde E é dado em MeV. Para elétrons secundários emitidos de in
terações entre radiações γ e X com a matéria, esta energia é de apenas alguns MeV.

Logo, a perda por radiação é sempre uma pequena fração de energia perdida devida à ionização e excitação e é significativa somente em absorvedores de alto número atômico.

CAPÍTULO II

TOMOGRAFIA RECONSTRUTIVA COMPUTADORIZADA

2.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo faremos uma breve busca histórica dos caminhos que levaram a Tomografia Reconstitutiva Computadorizada ao estado da arte em que se encontra atualmente.

Serão também analisados os métodos de reconstrução por simples retroprojeção e por retroprojeção filtrada, sendo esse último o utilizado no algoritmo para reconstrução de imagem no presente trabalho.

Aspectos físicos e instrumentais associados com a coleta de dados bem como o novo método desenvolvido para estudos da física da água no solo com tomografia computadorizada, serão abordados.

Reservamos para o Capítulo 5 os envolvimentos computacionais com o algoritmo e o software para reconstrução de imagem.

2.2 - HISTÓRICO DA TOMOGRAFIA RECONSTRUTIVA COMPUTADORIZADA

O termo tomografia tem sua raiz na palavra grega Tómos a qual significa pedaço.

As radiografias convencionais são obtidas com um feixe de radiação e apresentam no filme radiográfico uma vista longitudinal do corpo em estudo.

A tomografia utiliza um feixe colimado de radiação, o qual define planos verticais tão finos quanto o próprio feixe e, através de vários feixes colimados paralelos, pode-se definir vários planos verticais.

Assim, ao invés de impressionar diretamente um filme radiográfico com a radiação útil, obtem-se perfis em várias orientações angulares os quais, sob formas de sinais elétricos, posteriormente digitalizados podem ser processados, armazenados e farão parte de uma matriz denominada matriz imagem, onde cada ponto representa a função coeficiente de atenuação linear, a qual poderá ser montada ponto a ponto em um terminal de vídeo segundo uma escala de tons ou densidade de pontos. Esta escala recebeu o nome de escala Hounsfield.

George Louis Leclerc, Conde de Buffon, em 1777, século XVIII, no volume IV do suplemento a História Natural, publicou o artigo "Essai d'Arithmetique Morale"⁽¹¹⁾ no qual se encontra a origem das Probabilidades Geométricas, as quais foram posteriormente convertidas em Geometria Integral ou Geometria Estocástica.

Em 1812, Pierre Simon Laplace generalizou o problema da agulha de Buffon e observou a possibilidade de usar o cálculo de probabilidades para retificar curvas ou quadrar superfícies.

Por outro lado, a limitação de tais métodos de Buffon e Laplace estava em definir uma medida para conjuntos de posições da agulha ou da curva a qual permitisse calcular a probabilidade de uma ou de outra ocupar uma determinada posição no plano.

W. Blaschke em 1936⁽¹²⁾ possibilitou uma alternativa buscando a solução para tais medidas.

Com a solução para essas medidas e com o cálculo feito a partir delas, nasceu a Geometria Integral.

Devido a importância desses estudos comentados e de outros trabalhos na área é que em 1961 realizou-se em Feldberg, Alemanha, uma reunião de especialistas de várias áreas de formação e, a partir daí fundaram a Sociedade Internacional de Estereologia^(*) a qual foi definida como um conjunto de ferramentas para a exploração do espaço tridimensional a partir do conhecimento de secções bidimensionais.

Mas, a Estereologia é análoga à tomografia computadorizada, a qual reconstrói secções de um corpo tridimensional a partir de suas projeções bidimensionais. Para uma melhor focalização, vamos considerar um corpo convexo Q , possuindo uma massa de densidade variável dada por uma função $f(x,y,z)$ a qual representa a densidade da substância no interior do corpo considerado em um ponto x,y,z conforme ilustra a Figura (2.1).

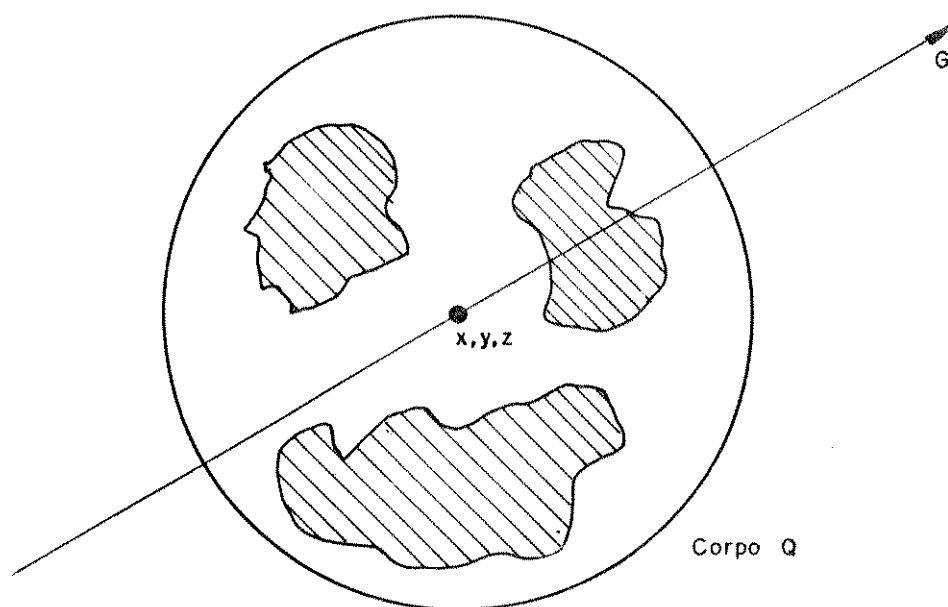


Figura (2.1) - Corpo Convexo Q

(*) Estereologia: Estudo das partes sólidas dos seres vivos.

Considerando na Figura (2.1) uma reta G a qual representa a trajetória de uma radiação qualquer, da qual se possa medir a intensidade na entrada e na saída, possibilitando assim determinar a absorção pelo corpo de tal radiação, isto é, fazendo a diferença entre essas intensidades medidas (e onde esse resultado dependerá da reta G).

Logo, vê-se que é possível medir experimentalmente uma função de G ou seja $F(G)$. Porém a dificuldade está em determinar $f(x,y,z)$ a partir de $F(G)$ que se supõe conhecida para todas as retas que atravessam o corpo Q .

Em 1917, J. Radon⁽¹³⁾ foi o primeiro a encontrar uma fórmula para calcular $f(x,y,z)$ a partir de $F(G)$, fórmula esta que ficou conhecida como "Transformada de Radon".

Bocage⁽¹⁴⁾ em 1921 introduziu a tomografia convencional ou plano focal usando transmissão de raios-X.

Em 1956, Bracewell⁽¹⁵⁾ desenvolveu a técnica de reconstrução numérica de imagens para uso em rádio-astronomia.

Em 1963 o físico A. M. Cormack⁽¹⁶⁾ resolveu alguns problemas do resultado teórico apresentado por Radon e proporcionou uma decisiva contribuição nas bases matemáticas da tomografia reconstitutiva buscando a determinação quantitativa com um número finito de retas G , na variabilidade da função coeficiente de atenuação a partir de medidas externas e assim, nascia a tomografia computadorizada.

Em 1968, De Rosier e Klug⁽¹⁷⁾ sugeriram a reconstrução tridimensional usando o método da Transformada de Fourier em microscopia eletrônica.

Dez anos após o trabalho de Cormack, em 1973, o engenheiro G.N. Hounsfield⁽¹⁸⁾ desenvolveu o primeiro tomógrafo médico comercial.

Por outro lado, para que o conceito em tomografia reconstitutiva fique claro, vamos considerar um corpo, uma fonte de raio-X ou raio- γ e um detector conforme ilustra a Figura (2.2)

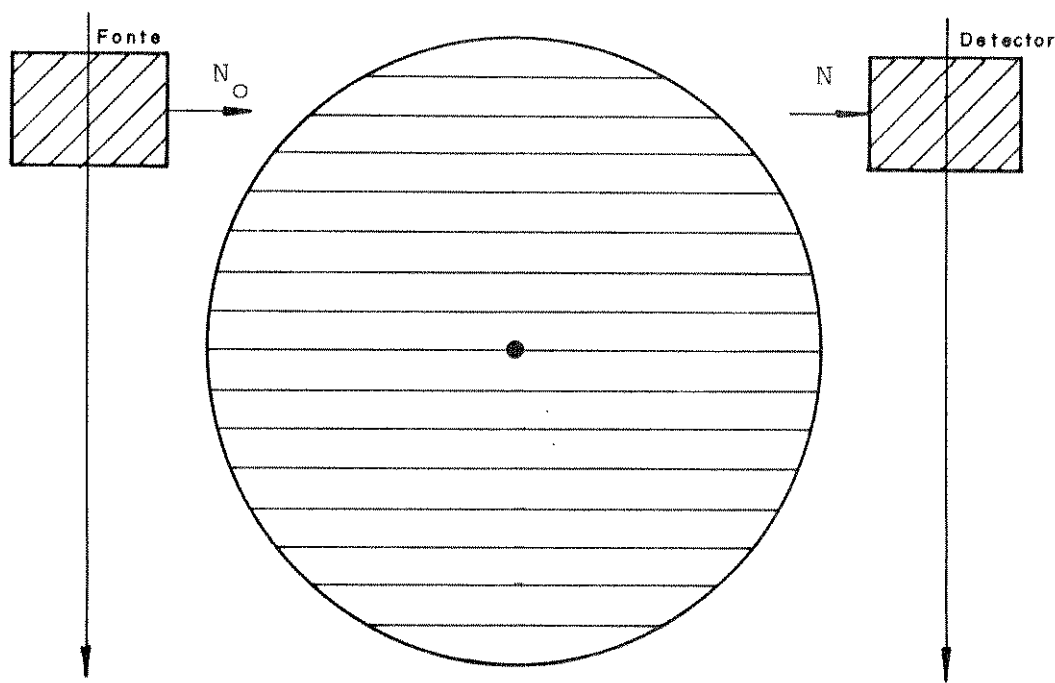


Figura (2.2) - Conjunto Fonte-Detector e corpo com vista em corte

A secção transversal do corpo é varrida em movimentos de translação com fonte e detector alinhados.

Essa varredura pode ser discreta em intervalos iguais ou de forma contínua. Se for feito em intervalos iguais à colimação da fonte, cada feixe ou reta G será considerado como uma faixa de largura a correspondente à janela de colimação chamada Raio.

A Figura (2.3) ilustra a situação para varredura discreta, bem como mostra o raio de largura a e a divisão em células da secção planar chamadas de pixel.

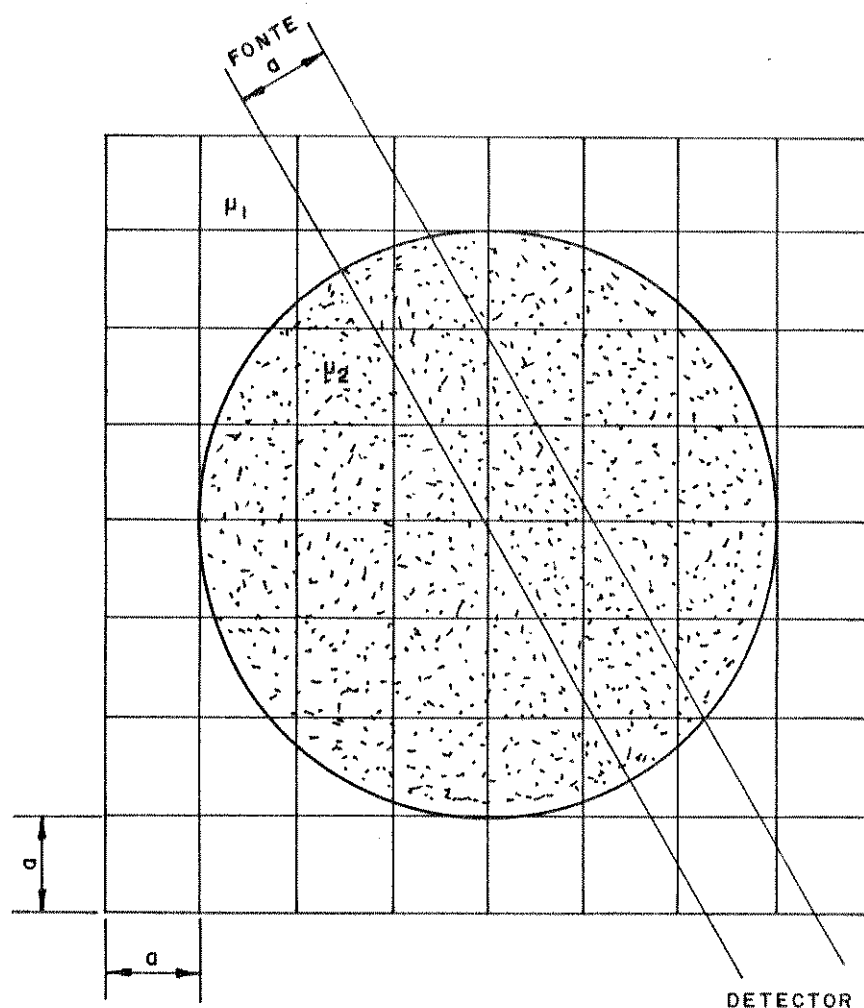


Figura (2.3) - Divisão em pixel da secção planar e raio de largura a

Uma vez que N (número de fótons transmitidos) e N_0 (número de fótons incidentes) podem ser conhecidos, pode-se calcular o valor da função coeficiente de atenuação ao longo do raio pela equação (II-1), isto é:

$$P(k) = \int_F^D \mu(x) dx \quad (\text{II-1})$$

onde $P(k)$ representa o k -ésimo raio e $\mu(x)$ é o coeficiente de atenuação na posição x , ao longo do k -ésimo raio.

Praticamente, a integral da equação (II-1) passa a ser um somatório discreto isto é, conforme mostrado na Figura (2.3) calcula-se μ para pontos discretos isto é, para cada célula ou pixel.

Assim, para cada posição angular θ fonte-detector ou corpo, tem-se um conjunto de raios-soma.

Obtém-se desta forma um conjunto de M projeções com incremento angular $\Delta\theta_0$, as quais possibilitarão posteriormente reconstruir a secção de interesse.

Dos algoritmos matemáticos para reconstrução de imagem, os mais conhecidos são o de retroprojeção, iterativo e analítico, sendo que este último apresenta soluções matemáticas exatas e é subdividido em dois métodos principais, isto é, o método por reconstrução de Fourier, o qual utiliza o espaço recíproco, e o método de retroprojeção filtrada ou convolução a qual utiliza o espaço real.

2.3 - RECONSTRUÇÃO POR SIMPLES RETROPROJEÇÃO

Para a reconstrução de uma secção transversal de um determinado corpo, um grande número de medidas de transmissão, quer seja de raio-X ou γ , são necessárias. Tais medidas devem ser obtidas para diferentes projeções angulares sob vários raios conforme visto.

Assim, a partir das medidas pode-se chegar a uma matriz de números que representa uma secção transversal do corpo em estudo, uma vez que estes, são os próprios coeficientes de atenuação linear.

Supondo por exemplo que a transmissão de raio X ou γ através de um objeto esférico seja medida por vários raios em duas direções consideradas, isto é, x e y . Para cada uma das direções, o conjunto de medidas constituirá um perfil, isto é, em outras palavras, para cada orientação angular particular, teremos um perfil considerado.

A Figura (2.4) ilustra essa situação.

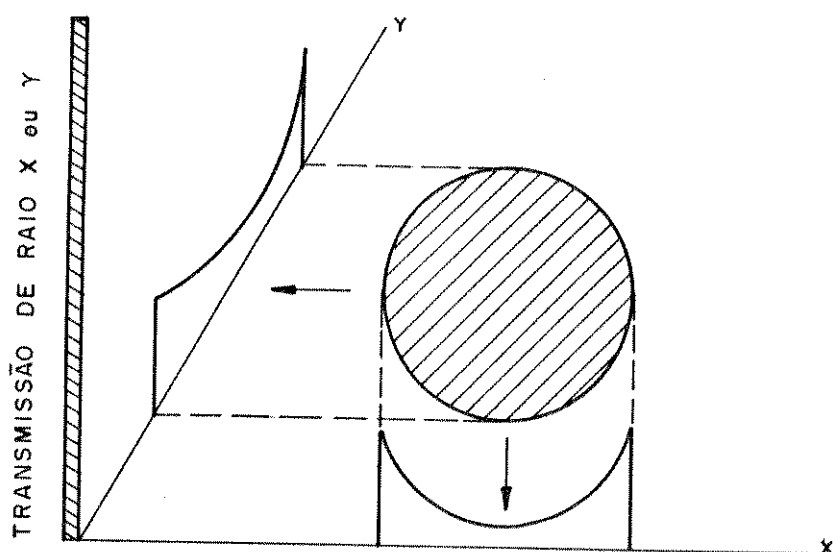


Figura (2.4) - Perfil nos eixos x e y decorrentes de um conjunto de medidas

Assim, após os perfis terem sido obtidos, os dados podem ser retroprojetados para formarem a imagem da esfera, conforme ilustra a Figura (2.5).

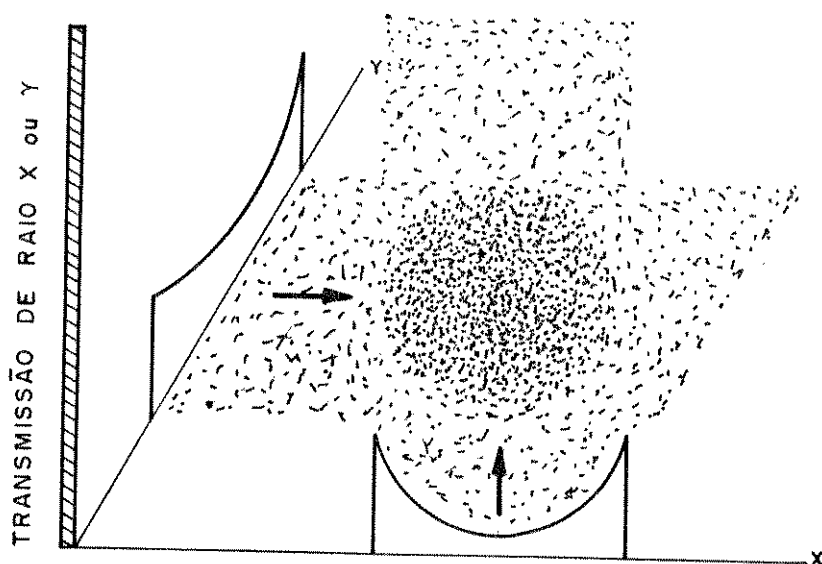


Figura (2.5) - O método de simples retroprojeção

Procurando buscar um esclarecimento matemático para o método de retroprojeção, vamos considerar um cubo como o da Figura (2.6) com um certo coeficiente de atenuação linear.

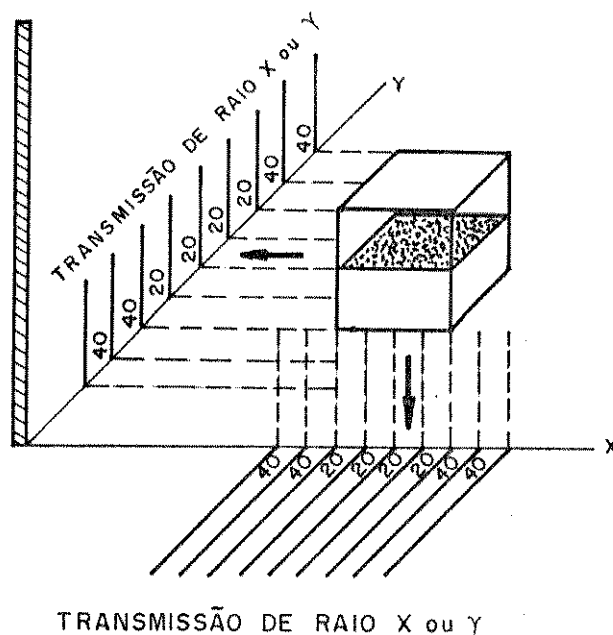


Figura (2.6) - Conceitos matemáticos para o método de simples retroprojeção

Para este caso considerado, temos que no eixo x, cada raio representa 20% e 40% de transmissão correspondendo respectivamente a 80% e 60% de atenuação.

Iniciando a retroprojeção e assumindo que cada raio transmitido seja dividido em dez partes, teremos uma contribuição de 6% de atenuação por cada parte dos 40% transmitidos e 8% de atenuação por cada parte dos 20% transmitidos nos eixos x e y.

Temos assim, para a retroprojeção, três situações a considerar para a obtenção da imagem final, isto é, 16% para cada elemento fortemente hachurado (8% + 8%), 14% para cada elemento hachurado (6% + 8%) e 12% para cada elemento não hachurado (6% + 6%), conforme ilustra a Figura (2.7).

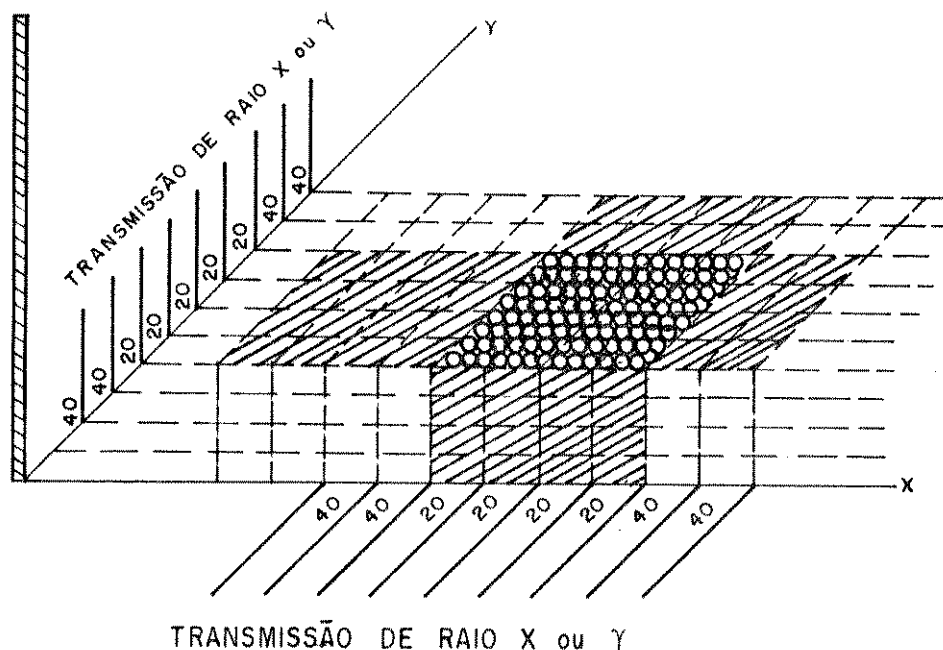


Figura (2.7) - As porcentagens de atenuações e a imagem da secção transversal do cubo pelo método de simples retroprojeção

Evidentemente, aumentando-se o número de raios e perfis, pode-se obter uma imagem mais próxima, isto é, com melhor resolução. Este método de simples retroprojeção, apresenta o inconveniente de um acentuado efeito de artefato na imagem obtida, e a este fenômeno foi dado o nome de "Efeito Estrela"⁽¹⁹⁾. A Figura (2.8) ilustra o "Efeito Estrela".

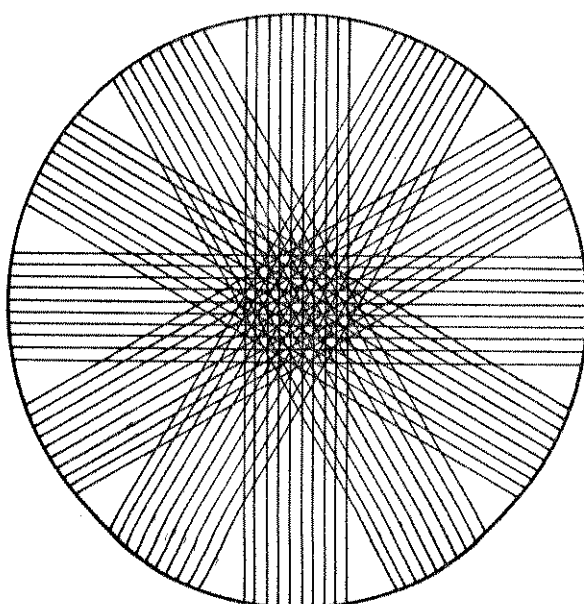


Figura (2.8) - "Efeito Estrela" no método de simples retroprojeção

O "Efeito Estrela" aparece quando são retroprojetados um número finito de perfis sobre o plano da imagem.

2.4 - RECONSTRUÇÃO POR RETROPROJEÇÃO FILTRADA

Para reduzir artefatos de imagens retroprojetadas, os dados obtidos decorrentes de transmissão de raio X ou raio γ podem ser modificados antes de serem retroprojetados.

A essa modificação dá-se o nome de filtragem, ou diz-se que os dados são filtrados.

Assim, componentes negativas são somadas aos dados projetados e os artefatos são eliminados a um nível razoável. Tal método, de combinar os dados projetados com uma função filtro, é referido como método da convolução onde cada dado é convoluído com a função filtro.

Ramachadran e Lakshminarayanan⁽²⁰⁾ em 1971, foram pioneiros em discutir e estudar funções filtro ou também chamadas por funções núcleo.

A Figura (2.9) ilustra o método de reconstrução por retroprojeção filtrada.

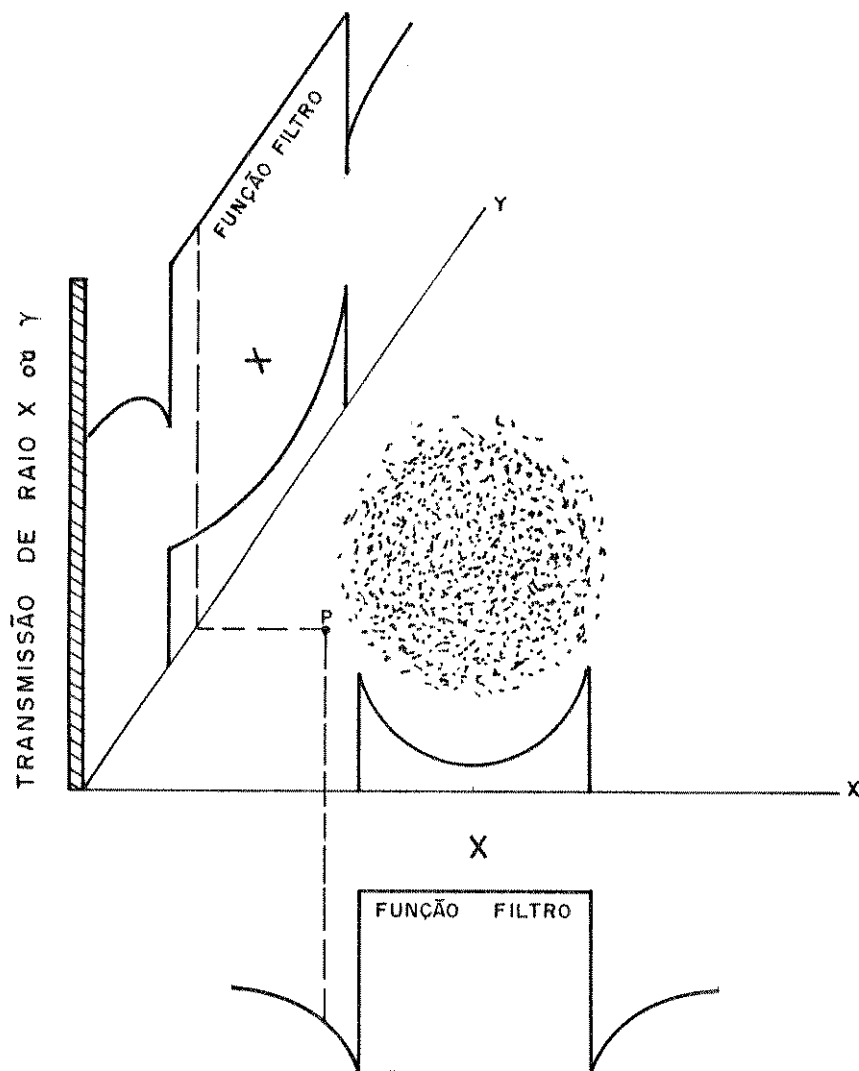


Figura (2.9) - Método da retroprojeção filtrada

Pode-se observar que o ponto P , fora do corpo em estudo, recebe as contribuições positiva, da função filtro do eixo y e negativa, da função filtro do eixo x .

2.5 - MODELO MATEMÁTICO DE RECONSTRUÇÃO

Para a definição do modelo matemático de reconstrução por retroprojeção filtrada, vamos considerar a Figura (2.10a) e (2.10b) onde são respectivamente apresentados o esquema simplificado de um tomógrafo de 1ª geração e os sistemas de coordenadas cartesianas (x,y) e (x',y') .

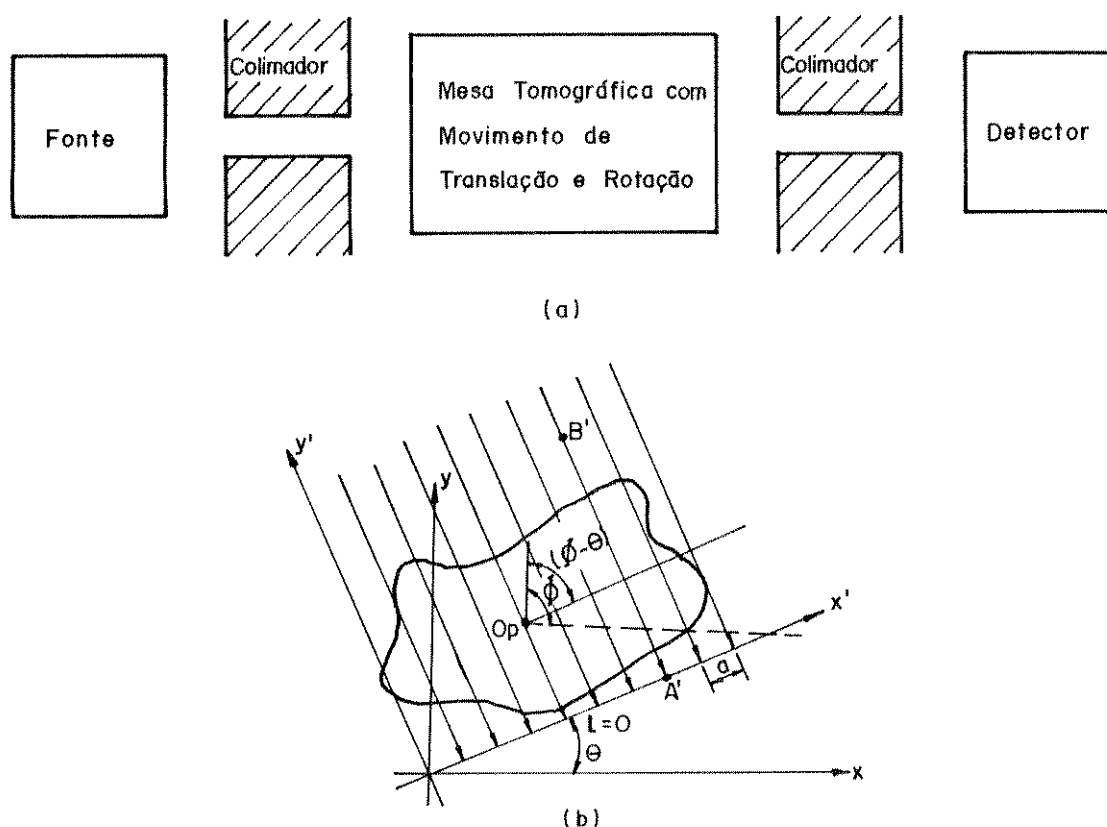


Figura (2.10) - (a) Esquema simplificado de um tomógrafo de 1ª geração. (b) Projeção de uma secção bidimensional de um corpo tridimensional

O sistema de coordenadas polares (r, ϕ) tem origem O_p fixa onde $\ell = 0$. Seja ℓ a distância entre os raios, e consideremos que o raio esteja a uma distância ℓ da origem O_p , e que ℓ seja um múltiplo inteiro de a onde a é definido pelo colimador em uso ou seja, é a largura do raio.

Considerando ainda um caso mais geral onde o corpo em estudo pode não ser homogêneo, a transmissão na direção y' ao longo de x' será dada por

$$N(x', \theta) = N_0 \exp \left[- \int_{-\infty}^{+\infty} \mu(x', y') dy' \right] \quad (\text{II-2})$$

sendo que $\mu(x', y')$ é a função distribuição de coeficientes de atenuação linear. Assim, o raio soma em uma posição x para um certo ângulo θ será

$$\ln \left[\frac{N_0}{N(x', \theta)} \right] = \int_{-\infty}^{+\infty} \mu(x', y') dy' \quad (\text{II-3})$$

ou em função de ℓ e θ

$$\ln \left[\frac{N_0}{N(\ell, \theta)} \right] = \int_{-\infty}^{+\infty} \mu(x', y') dy' \quad (\text{II-4})$$

O valor de $N(\ell, \theta)$ é obtido experimentalmente e o valor N_0 é um valor também conhecido que depende da fonte utilizada.

A questão então é resolver a equação integral que tem como parâmetro desconhecido a função distribuição de coeficientes de atenuação linear.

Considerando para solução que tenhamos uma função distribuição de coeficiente de atenuação linear de um corpo $\mu(x, y)$, uma vez que o corpo tem dimensões física e finitas, então $|\mu(x, y)|$ é uma função limitada e assim absolutamente integrável, isto é, convergente, logo a sua transformada de Fourier existe⁽²¹⁾.

$$F(X, Y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \mu(x, y) \exp[2\pi i(xX + yY)] dx dy \quad (\text{II-5})$$

invertendo

$$\mu(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(X, Y) \exp[-2\pi i(xX + yY)] dXdY \quad (\text{II-6})$$

sendo que x, y são coordenadas no espaço real e X, Y são coordenadas no espaço recíproco.

A Figura (2.11) ilustra os espaços real e recíproco.

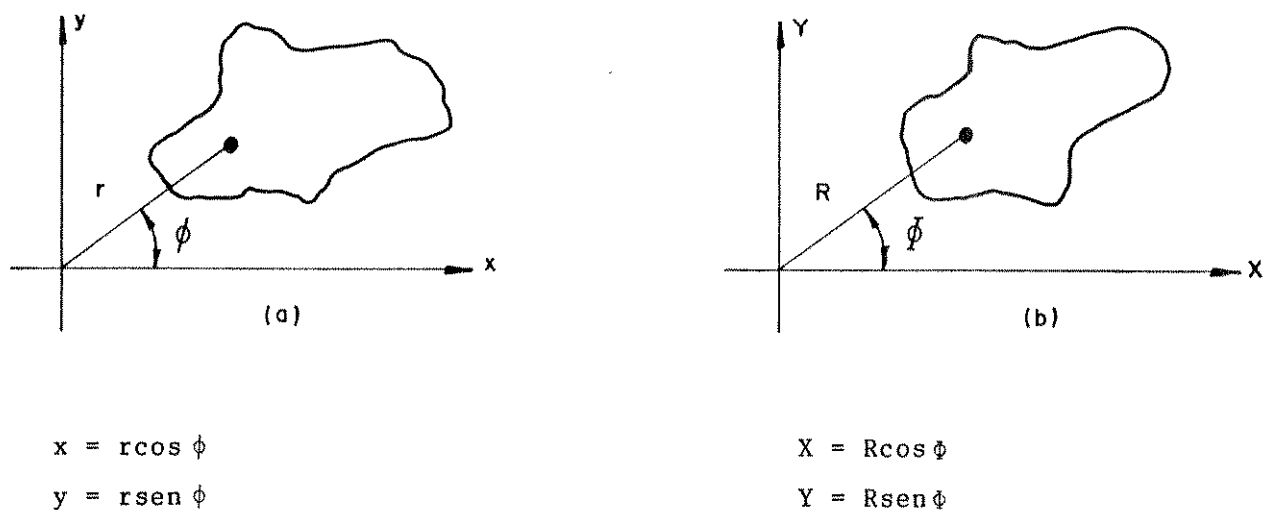


Figura (2.11) - a) Espaço Real
 b) Espaço Recíproco

Colocando a equação (II-6) em coordenadas polares teremos:

$$\mu(r, \phi) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_0^{\pi} F(R, \Phi) \exp[-2\pi i r R \cos(\phi - \Phi)] |R| dR d\Phi \quad (\text{II-7})$$

ou

$$\mu(r, \phi) = \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} F(R, \Phi) \exp[-2\pi i r R \cos(\phi - \Phi)] R dR d\Phi \quad (\text{II-8})$$

Aplicando agora a definição de raio soma, teremos:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \mu(x, y) dy = \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(X, Y) \exp[-2\pi i (xX + yY)] dX dY \right] dy$$

ou

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \mu(x, y) dy = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \{F(X, Y) \exp[-2\pi i x X] \int_{-\infty}^{+\infty} \exp[-2\pi i y Y] dy\} dX dY \quad (\text{II-9})$$

resolvendo

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \exp[-2\pi i y Y] dy = \delta(Y-0)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} F(X, Y) \delta(Y-0) dy \begin{cases} = F(X, 0) \text{ para } Y = 0 \\ = 0 \text{ para } Y \neq 0 \end{cases}$$

optando pela solução não trivial, isto é $Y = 0$ teremos

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \mu(x, y) dy = \int_{-\infty}^{+\infty} F(X, 0) \exp(-2\pi i x X) dX$$

ou fazendo com que o raio soma seja $P(x)$ e invertendo, tem-se

$$F(X, 0) = \int_{-\infty}^{+\infty} P(x) \exp(2\pi i x X) dX \quad (\text{II-10})$$

Considerando agora o sistema real xy e o recíproco XY com mesma origem e coincidentes, verifica-se que para $Y = 0$ tem-se $\Phi = 0$, e assim, pode-se escrever

$$F(X, 0) = F(R, 0) \text{ onde } X \in (0, \infty) \text{ e } R \in (0, \infty)$$

e

$$F(X, 0) = F(R, \pi) \text{ onde } X \in (-\infty, 0) \text{ e } R \in (-\infty, 0)$$

Girando-se o sistema real de um ângulo θ , o sistema recíproco sofrerá a mesma transformação⁽²²⁾, isto é, obtem-se um novo sistema $x'y'$ e $X'Y'$ onde

$$(x', X') = (x, X) \cos \theta + (y, Y) \sin \theta$$

$$(y', Y') = (x, X) \sin \theta + (y, Y) \cos \theta$$

e

$$F(X', \theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} P(x') \exp[2\pi i x' X'] dx' \quad (\text{II-11})$$

ou em coordenadas polares

$$F(R, \theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} P(\ell; \theta) \exp(2\pi i \ell R) d\ell \quad (\text{II-12})$$

onde

$$F(X', \theta) = F(R, \theta + \pi) \text{ para } X' \in (-\infty, 0] \text{ e } R \in [0, +\infty)$$

$P(\ell; \theta)$ com valores de $\ell \in (-\infty, +\infty)$ para cada valor de ângulo $\theta \in [0, \pi)$ é obtido experimentalmente e obtém-se assim um conjunto de $F(R, \theta)$.

Tal conjunto possibilita determinar $\mu(r, \phi)$ que pode ser reconstruída pelas equações:

$$F(R; \theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} P(\ell; \theta) \exp[2\pi i R \ell] d\ell \quad (\text{II-13})$$

$$\mu(r, \phi) = \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} F(R, \theta) \exp[-2\pi i r R \cos(\phi - \theta)] R dR d\phi \quad (\text{II-14})$$

onde a equação (II-13) representa a transformada de Fourier unidimensional de $P(\ell; \theta)$ para cada ângulo θ e a equação (II-14) representa a transformada de Fourier inversa bidimensional dos dados $F(R; \theta)$ para $R \in (-\infty, +\infty)$ e $\theta \in [0, \pi)$.

Assim, o método descrito utiliza o espaço recíproco para o cálculo da função distribuição de coeficientes.

Buscando evitar as dificuldades como por exemplo, convergência da série de Fourier, otimização do tempo computacional e definição de fronteiras, tentou-se encontrar um método que trabalhasse no espaço real o qual correlaciona a integral de convolução com uma propriedade da transformada de Fourier.

Assim, buscou-se uma nova função projeção $P'(\ell; \theta)$ de tal forma a obter uma reconstrução mais próxima da real.

No método de retroprojeção o raio soma $P(\ell; \theta)$ que contém as informações sobre a distribuição do coeficiente de atenuação linear ao longo de um certo raio $A'B'$ é retroprojetado e assim, raios soma retroprojetados passando por um mesmo ponto são somados dando origem à função $\phi(r, \phi)$ que fornece um valor qualitativo das variações da função distribuição de coeficiente de atenuação linear e não o valor real.

Tem-se que:

$$\phi(r, \phi) = \int_0^\pi P(r \cos(\phi - \theta), \theta) d\theta \quad (\text{II-15})$$

Assim, conforme visto na Figura (2.8) a retroprojeção não define as fronteiras do corpo em estudo, isto é, surgem regiões fora da fronteira com altos valores da função $\phi(r, \phi)$.

Busca-se então, uma nova função projeção $P'(\ell; \theta)$ para uma reconstrução mais próxima da real.

Da equação (II-13), sua transformada inversa é:

$$P(\ell; \theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(R; \theta) \exp(-2\pi i R \ell) dR \quad (\text{II-16})$$

Substituindo a equação (II-16) na equação (II-15) resulta:

$$\phi(r, \phi) = \int_0^\pi \int_{-\infty}^{+\infty} F(R; \theta) \exp(-2\pi i R \ell) dR d\theta \quad (\text{II-17})$$

Reescrevendo a equação (II-14) conforme abaixo,

$$\mu(r, \phi) = \int_0^\pi \int_{-\infty}^{+\infty} F(R, \theta) \exp[-2\pi i R r \cos(\phi - \theta)] |R| dR d\theta$$

observa-se que a mesma difere da equação (II-17) somente pelo termo $|R|$, o qual pode ser interpretado como uma função filtro,

no espaço recíproco.

Assim, a equação (II-14) reescrita pode ser colocada na forma:

$$\mu(r, \phi) = \int_0^\pi P'(r(\cos \phi - \theta); \theta) d\theta \quad (\text{II-18})$$

onde

$$P'(\ell; \theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} |R| F(R, \theta) \exp(-2\pi i R \ell) dR$$

A retroprojeção da função $P'(\ell; \theta)$ terá como resultado a função $\mu(r, \phi)$, isto é, uma reconstrução real. Porém, $P(\ell; \theta)$ é uma medida experimental e $P'(\ell; \theta)$ foi tomada por definição, tornando-se necessário encontrar uma relação entre elas. Para tanto, uma função $q(\ell)$ é definida tal que:

$$|R| = \int_{-\infty}^{+\infty} q(\ell) \exp(2\pi i R \ell) d\ell \quad (\text{II-19})$$

onde

$$|R| = \mathcal{F}[q(\ell)]$$

e ainda:

$$\mathcal{F}[P(\ell; \theta)] = F(R; \theta)$$

$$\mathcal{F}[P'(\ell; \theta)] = |R| F(R; \theta)$$

E, pelo teorema da convolução, onde a transformada de Fourier da convolução de duas funções é igual ao produto das transformadas de Fourier de cada função, tem-se:

$$\mathcal{F}[P'(\ell; \theta)] = \mathcal{F}[q(\ell) * P(\ell; \theta)]$$

ou pelas transformadas inversas

$$P'(\ell; \theta) = q(\ell) * P(\ell; \theta) \quad (\text{II-20})$$

A equação (II-20) pode ser colocada na forma integral, isto é:

$$P'(\ell; \theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} q(\ell_1) P(\ell - \ell_1; \theta) d\ell_1 \quad (\text{II-21})$$

Mas o cálculo de $q(\ell)$ não pode ser feito diretamente, uma vez que $|R|$ diverge nos limites de integração.

Assim, expandindo $|R|$ em sua série de Fourier de período A onde $A = \frac{1}{a}$ ⁽²³⁾ chega-se:

$$|R| = \sum_{-\infty}^{+\infty} a q_A(na) \exp(2\pi i R n \frac{1}{A}) \quad (\text{II-22})$$

onde a conforme visto é a largura do raio e n é um inteiro qualquer.

Substituindo agora, os limites de integração por $\frac{A}{2}$ e $-\frac{A}{2}$, obtém-se uma função $q_A(\ell)$ a qual se aproxima de $q(\ell)$ no limite de $A \rightarrow \infty$ ou no limite de $a \rightarrow 0$, isto é:

$$q_A(\ell) = \int_{-\frac{A}{2}}^{\frac{A}{2}} |R| \exp(-2\pi i R \ell) dR \quad (\text{II-23})$$

resolvendo para $\ell = na$, chega-se a:

$$q(na) = 0 \text{ para } n \text{ par}$$

$$q(na) = -\frac{1}{\pi^2 n^2 a^2} \text{ para } n \text{ ímpar}$$

$$q(na) = \frac{1}{4a^2} \text{ para } n \text{ igual a zero.}$$

Logo, discretizando a equação (II-21) fazendo $\ell_1 = ma$ onde m é também um inteiro qualquer chega-se a:

$$P'(na; \theta) = a \sum_{m=-\infty}^{+\infty} q(ma) P((n-m)a; \theta) \quad (\text{II-24})$$

Substituindo os valores de $q(na)$ em (II-24) chega-se a:

$$P'(na; \theta) = \frac{P(na; \theta)}{4a} - \frac{1}{\pi^2 a} \sum_{p=\text{impar}} \frac{P((n-p)a; \theta)}{p^2} \quad (\text{II-25})$$

Discretizando a equação (II-18) em θ , r e ϕ chega-se a:

$$\mu(jr_o, k\phi_o) = \theta_o \sum_{t=1}^M P'[jr_o \cos(k\phi_o - t\theta_o); t\theta_o] \quad (\text{II-26})$$

onde j , k , t são inteiros positivos

r_o , ϕ_o são incrementos de r e ϕ

ϕ_o é o incremento na projeção

M é o número de projeções

Mas, o argumento $(jr_o \cos(k\phi_o - t\theta_o))$ nem sempre é múltiplo inteiro de a , tornando-se necessário interpolar entre os valores conhecidos do P' para efetuar o somatório na equação (II-26).

2.6 - ASPECTOS FÍSICOS E INSTRUMENTAIS ASSOCIADOS COM A COLETA DE DADOS EM TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

2.6.1 - ASPECTOS BÁSICOS

Aqui, apresentamos como enfoque principal as limitações físicas e os problemas relacionados com a calibração e as medidas dos dados em tomografia computadorizada.

Tais aspectos tornam-se importantes uma vez que os coeficientes de atenuação linear para uma certa energia fixa E , chamado de $\mu_E(x, y)$ é calculado a partir de resultados de integrais de linha decorrentes de um número finito de projeções.

As medidas em tomografia computadorizada são estimadas por essas integrais de linha.

Em particular, o problema da estatística de contagem, diferentes energias em um mesmo feixe e outras fontes de erro serão abordadas.

2.6.2 - ESTATÍSTICA DE FÓTONS

Uma das limitações básicas para a precisão ou exatidão de uma medida em tomografia computadorizada é a natureza estatística no processo de produção de fótons, sejam decorrentes de fontes de raio-X ou raio- γ .

A probabilidade P de detecção de n fótons em um tempo t é de natureza randômica, e é governada pela distribuição de Poisson de tal forma que:

$$P(n, t) = \frac{(\xi R t)^n \exp(-\xi R t)}{n!} \quad (\text{II-27})$$

ou

$$P(n, t) = \frac{N^n \exp(-N)}{n!} \quad (\text{II-28})$$

onde R é a razão média de fótons (fótons/segundo), e $N = \xi R t$ é a média de fotoelétrons emitidos pelos fotocatodos da fotomultiplicadora durante o intervalo de tempo t , e ξ , conforme visto anteriormente, é a eficiência quântica da fotomultiplicadora.

O ruído ou incerteza em N é dado pelo desvio padrão σ , isto é:

$$\sigma = \sqrt{(\xi R t)} \quad (\text{II-29})$$

ou

$$\sigma = \sqrt{N} \quad (\text{II-30})$$

Assim, a relação sinal ruído SNR será dada por

$$\text{SNR} = \frac{N}{\sqrt{N}} \quad (\text{II-31})$$

ou

$$\text{SNR} = \sqrt{\xi R t} \quad (\text{II-32})$$

Por outro lado, considerando que o ruído seja um ruído branco^(*), a relação sinal ruído será também proporcional à raiz quadrada da medida do tempo t e, assumindo que não haja emissão de elétrons termoiônicos do fotocatodo da fotomultiplicadora, então a corrente em amperes do fotocatodo será dada por:

$$I_{pe} = \xi R e \quad (\text{II-33})$$

onde e é a carga do elétron, isto é, $1,603 \times 10^{-19}$ Coulombs.

A relação sinal ruído da corrente do fotocatodo é dada por:

$$\text{SNR}_K = \sqrt{\frac{I_{pe} \cdot t}{e}} \quad (\text{II-34})$$

Mas, a medida de tempo t tem associada com ela uma faixa de frequência Δf onde:

$$t = \frac{1}{2\Delta f} \quad (\text{II-35})$$

logo, substituindo a expressão (II-35) na expressão (II-34), resulta:

(*) Ruído Branco - Ruído randômico acústico ou elétrico que tem uma mesma intensidade por ciclo sobre uma total banda de frequência especificada. Neste particular, representa o distúrbio elétrico causado por movimentos randômicos de elétrons livres.

$$\text{SNR}_K = \frac{I_{pe}}{\sqrt{2eI_{pe}\Delta f}} \quad (\text{II-36})$$

e, se multiplicarmos ambos, o numerador e o denominador da relação (II-36) pelo ganho médio A da fotomultiplicadora, teremos

$$\text{SNR}_a = \frac{I_a}{\sqrt{2AeI_a\Delta f}} \quad (\text{II-37})$$

onde I_a é a corrente contínua de anodo ($I_a = A \cdot I_{pe}$) e SNR_a é a relação sinal ruído da corrente de anodo considerando desprezíveis as emissões termoiônicas e outros ruídos.

Na prática, quando não há fótons na entrada do detector, o fotocatodo emite elétrons devido ao efeito da temperatura.

Os dinodos também emitirão elétrons termoiônicos e, a razão de tais emissões podem ser reduzidas pela refrigeração da fotomultiplicadora.

Outra forma de atenuar este tipo de problema, é selecionar materiais para fotocatodos com resposta espectral fora da faixa de ondas longas.

Se o fotocatodo emitir elétrons randomicamente com uma razão de contagem R_d , então a componente ruído da corrente de catodo será incrementada de $\sqrt{(\xi R + R_d)t}$ e a relação sinal ruído da corrente de catodo será dada por

$$\text{SNR} = \frac{\xi R \sqrt{t}}{\sqrt{(\xi R + R_d)t}} \quad (\text{II-38})$$

e assim, esta será a relação sinal ruído de saída do dinodo da fotomultiplicadora.

Cada elétron emitido pelo fotocatodo da fotomultiplificadora será amplificado para um valor q .

Assim, o pulso de corrente resultante de anodo terá uma largura completa em um tempo t_w e, o valor de pico I_{pk} do pulso de corrente do anodo poderá ser aproximado por

$$I_{pk} \approx \frac{q}{t_w} \quad (II-39)$$

Em um sistema de contagem de fótons, o resistor de carga do anodo tem geralmente baixo valor, isto é, entre 50 a 100 Ω e a constante de tempo τ_a formada pela capacitância de isolação ($C_a \approx 20\text{pF}$), do anodo e tal resistor de carga será pequena comparada a t_w e assim, o pulso de tensão de anodo terá a mesma forma do sinal de corrente e seu pico terá valor

$$V_{pk} = I_{pk} R_a \quad (II-40)$$

O valor de V_{pk} depende do ganho da fotomultiplicadora. Normalmente é utilizado um pré-amplificador e um amplificador para amplificar os pulsos de anodo para posterior encaminhamento ao discriminador.

Outro aspecto físico que deve ser observado é quanto ao uso de fontes com feixes monoenergéticos isto é, o uso de fontes policromáticas proporcionam fótons de diferentes energias e, devido ao fato de que para um certo ponto considerado de um corpo a atenuação para fótons de menor energia é maior, em um corpo heterogêneo haverá diferentes atenuações e, se o feixe é policromático fica difícil assumir um simples valor para o coeficiente de atenuação naquele ponto considerado.

Sendo assim, para uma particular energia é possível assumir um coeficiente de atenuação.

Outra fonte de erro que deve ser levada em conta é a geometria envolvida, isto é, foco, colimação, mesa tomográfica e detector. Estes, devem estar muito bem acoplados para possibilitarem uma boa aquisição de dados e consequentemente uma boa imagem.

2.6.3 - OS DETECTORES DE RADIAÇÃO

Tem-se normalmente no mercado um grande número disponível de dispositivos que possibilitam detectar radiações ionizantes.

Tais dispositivos têm sido agrupados em três principais grupos ou categorias

- a) detectores a gás
- b) detectores cintiladores
- c) outros detectores

Neste trabalho em particular, procuramos dar ênfase àquele utilizado na elaboração do sistema desenvolvido, isto é, os detectores cintiladores.

Certos materiais têm a propriedade de emitirem um "flash" de luz ou cintilarem quando interceptados por radiações ionizantes.

Um detector cintilador é um elemento sensível usado para detectar a radiação ionizante pela observação da cintilação induzida no material.

Assim, quando um dispositivo sensível à luz é afixado ou interligado a esse material especial, o "flash" de luz pode ser transformado em pequenos impulsos elétricos.

Tais impulsos elétricos podem posteriormente serem amplificados, discriminados e contados proporcionando, em um certo intervalo de tempo, o valor da radiação ionizante presente.

Entre os detectores cintiladores, dois deles são os mais utilizados, isto é, os detectores cintiladores líquidos e os detectores cintiladores com cristais.

Dentre estes, o detector cintilador sólido é o mais comumente utilizado⁽²⁴⁾.

Quanto ao cristal detector, o tipo de cristal frequentemente em uso, conforme inclusive o utilizado neste trabalho, é o cristal de Iodeto de Sódio (NaI) ativado com Thallium isto é, NaI(Tl).

O fato de dopar^(*) o cristal de Iodeto de Sódio com impureza como o Thallium é para que o mesmo possa cintilar em temperaturas ambientes quando atingido por radiações ionizantes.

O cristal de Iodeto de Sódio é higroscópico, razão pela qual deve estar sempre hermeticamente selado.

Normalmente, associa-se ao cristal cintilador, um dispositivo conhecido como fotomultiplicadora a qual tem a finalidade básica de converter a cintilação proveniente do cristal dopado, em um sinal elétrico passível de ser medido por um instrumental próprio.

Mais especificamente, uma fotomultiplicadora é um dispositivo extremamente sensível, empregado para medição da energia radiante correspondente principalmente nas faixas do ultravioleta visível, e faixas próximas ao infravermelho.

(*) Dopar - Ato de colocar impurezas em um cristal semiconductor.

Fisicamente, uma fotomultiplicadora é constituída por uma superfície sensível às radiações luminosas chamada fotocátodo, o qual transforma os fótons que chegam à sua superfície sensível em um fluxo de elétrons, um sistema de entrada optoeletrônico, o qual tem como missão captar os fótons e os elétrons gerados no primeiro dinodo, uma série de dinodos ou etapas amplificadoras, as quais amplificam a corrente inicial baseadas no fenômeno da emissão secundária e finalmente, um anodo que tem a função de captar a corrente a partir do último dinodo.

A Figura (2.12) ilustra esquematicamente um detector cintilador associado à uma fotomultiplicadora.

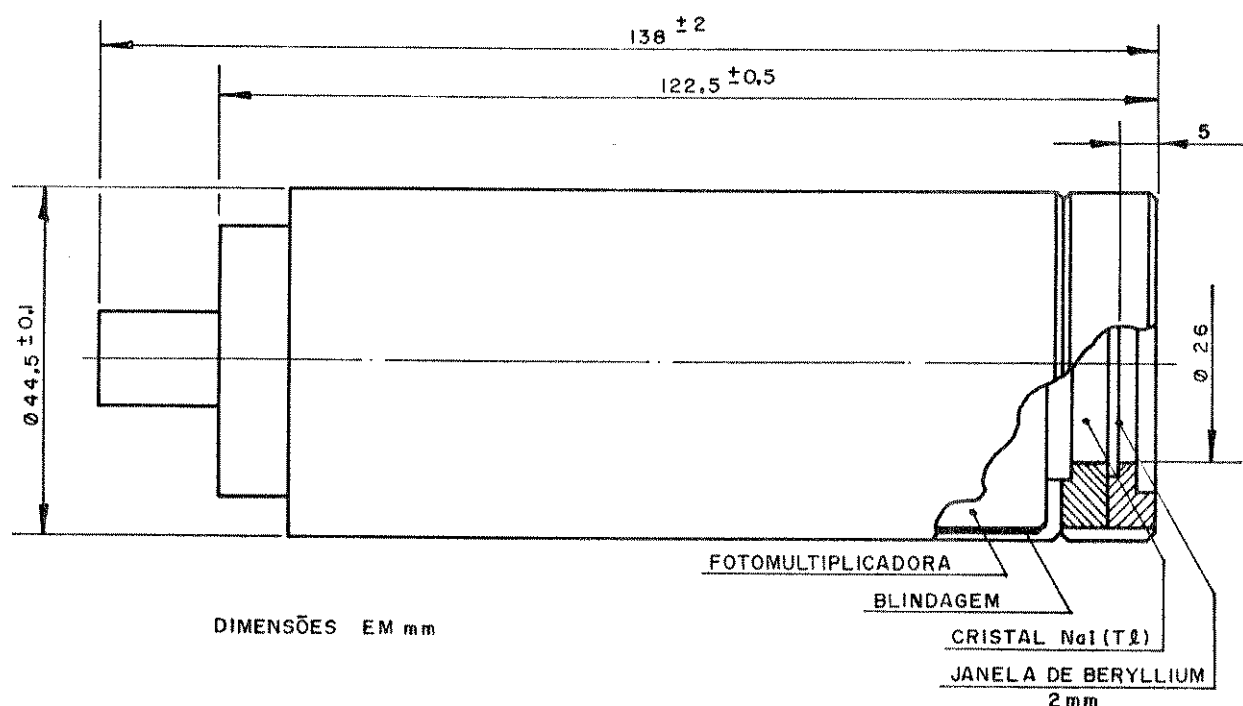


Figura (2.12) - Detector cintilador associado a uma fotomultiplicadora

2.6.3.1 - O FOTOCATODO

Os dispositivos fotoelétricos empregam uma capa fotoemissiva sobre a superfície do catodo mediante a qual, os fótons que chegam são transformados em um fluxo de elétrons.

Esta superfície fotoemissiva determinará a margem espectral, a sensibilidade e a máxima capacidade de detecção do dispositivo.

Praticamente, as características do fotocatodo e o limite de sensibilidade são uma função do material das superfícies fotoemissivas.

Na Figura (2.13) é apresentada a variação da resposta para diferentes tipos de materiais.

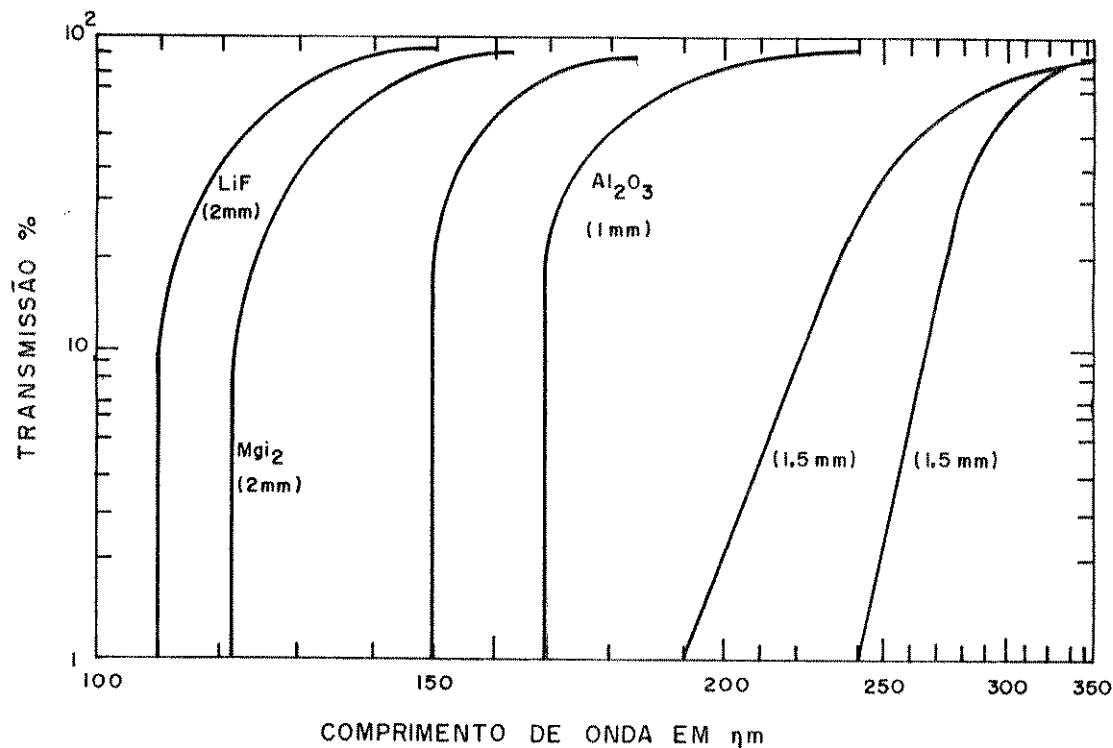


Figura (2.13) - Resposta de diferentes tipos de materiais

2.6.3.2 - O SISTEMA DINODO

Este sistema é constituído por um certo número de eletrodos chamados dinodos que proporcionam emissão secundária.

Dentre os diferentes tipos disponíveis, há aqueles que apresentam uma estrutura de dinodo do tipo linear, os quais são constituídos à base de dinodos de Césio cobertos de Magnésio Prateado, ou os do tipo janela, onde os dinodos são de Cobre-Berílio.

Cada elétron que alcança um dinodo não produz o mesmo número de elétrons secundários, este número depende do ângulo de incidência e da velocidade do elétron.

Geralmente considera-se o fator principal de emissão secundária S_k do dinodo de ordem k , o qual é igual à soma do número de elétrons que a ele chegam.

Assim, sendo $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ os fatores de emissão secundária dos dinodos de ordem 1, 2, 3, ..., n , a amplificação total para a fotomultiplicadora será:

$$G = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n \quad (\text{II-41})$$

ou

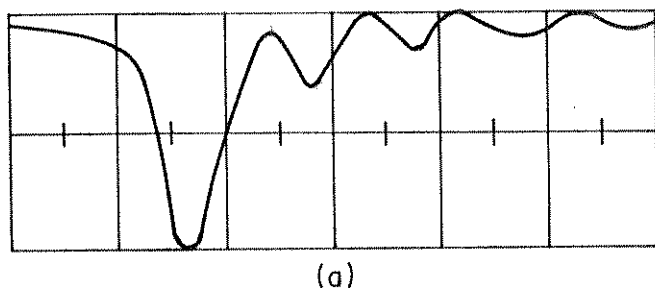
$$G = \sum_{n=1}^{md} S_n \quad (\text{II-42})$$

onde md é o número de dinodos disponíveis.

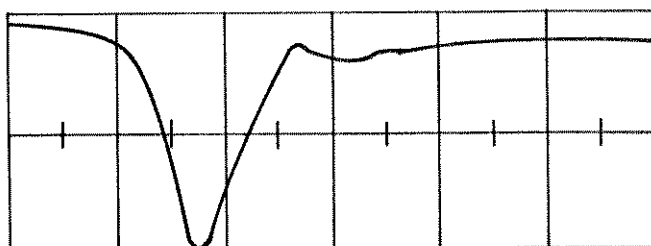
2.6.3.2.1 - Resistência Amortecedora no Circuito do Dinodo

Uma vez que a fotomultiplicadora trabalha como um gerador de corrente, a inserção de resistências não modifica a amplitude do sinal, uma vez que as mesmas são parte dos circuitos de dinodos. A razão básica para incluir a resistência é que uma vez que a corrente anódica apresenta oscilações, quando os pulsos luminosos são mais curtos que o tempo de resposta da fotomultiplicadora, o uso de resistências as amortecem.

As Figura (2.14)a e (2.14)b, ilustram as oscilações da corrente anódica sem e com resistência amortecedora, respectivamente.



(a)



(b)

Figura (2.14) - Oscilações da corrente anódica
a) Sem Resistência Amortecedora
b) Com Resistência Amortecedora

2.6.3.3 - O ANODO

O anodo é feito geralmente, de uma malha metálica para garantir baixas capacitâncias e é colocado diretamente de frente ao último dinodo. Desta forma, o fator de emissão secundária do anodo é muito pequeno e o número e velocidade dos elétrons que o alcançam é relativamente grande.

2.6.3.4 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

Duas são as características consideradas como mais importantes para a qualidade de um detector. São elas:

- a) resolução
- b) estabilidade

2.6.3.4.1 - Resolução

É a medida da habilidade do cristal discriminar, entre pulsos adjacentes ou energias adjacentes.

Esta medida é feita em um intervalo de tempo dado e é determinada pela expressão:

$$PHR = \frac{E_1 - E_2}{E_p} \times 100 \quad (II-43)$$

onde E_p é a energia de pico, e E_1 e E_2 , energias de meia contagem respectivamente acima e abaixo de E_p .

2.6.3.4:2 - Estabilidade

É a medida do comportamento da fotomultiplicadora sob várias condições de uso, mais especificamente uma medida do Drift^(*) para uma razão de contagem constante e deslocamento do ganho com mudança na razão de contagem.

Para a primeira medida, estipula-se um período não menor que três horas e o desvio médio por dia é calculado pela expressão:

$$\text{DRIFT} = \left(\frac{\Sigma \bar{P} - P_1}{n} \right) \left(\frac{100S}{\bar{P}} \right) \quad (\text{II-44})$$

O resultado é fornecido em % por dia.

Na expressão (II-44) P_1 é um dos fóton-picos medidos em uma série, $\bar{P}$ é o valor médio calculado dos fóton-picos da mesma série, S é um fator normalizador para 24 horas e n o número de fóton-picos considerados.

O deslocamento do ganho é calculado pela expressão:

$$\begin{array}{l} \text{DESLOCAMENTO} \\ \text{DO GANHO} \end{array} = \left(\frac{\Sigma P_1 - P_n}{4} \right) \left(\frac{100}{P_n} \right) \quad (\text{II-45})$$

onde P_n é o fóton-pico da última posição determinada para 1000 cps.

(*) Drift - Uma deriva gradual a partir de um ponto pré-ajustado. Pode ser em nível de corrente, tensão ou frequência. Para o caso em questão, uma deriva no deslocamento do ganho, implicando em flutuações no nível de tensão de saída.

2.7 - O NOVO MÉTODO DESENVOLVIDO PARA ESTUDOS DA FÍSICA DA ÁGUA NO SOLO COM TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

Um novo método de investigação da física da água no solo, usando tomografia computadorizada, foi desenvolvida por Crestana et al⁽²⁵⁾ onde verificou-se a possibilidade de novos enfoques e análises quantitativas em estudos dinâmicos da distribuição da água no solo, detecção de heterogeneidades do solo, e estudos preliminares de germinação de uma semente "in situ".

Este novo método se mostrou vantajoso quando comparado aos métodos clássicos como o gravimétrico⁽²⁶⁾ e o de transmissão direta de raios- γ ⁽²⁷⁾.

A pesquisa e o desenvolvimento do minitomógrafo de raios-X e raios- γ , foi motivado principalmente pelos resultados da pesquisa decorrente do uso desse novo método.

2.8 - AS UNIDADES MEDIDAS PELO TOMÓGRAFO

Os algoritmos de reconstrução atribuem a cada pixel, na matriz imagem, um coeficiente de atenuação linear. Tais coeficientes são posteriormente convertidos em números correspondentes às unidades medidas pelo tomógrafo, isto é, Unidades Hounsfield - UH. Estas unidades são definidas como⁽²⁸⁾:

$$UH = 1000 \cdot \left[\frac{\mu - \mu_w}{\mu_w} \right] \quad (II-46)$$

onde μ_w é o coeficiente de atenuação da água, e geralmente é considerado como nível de referência ou valor padrão.

Normalmente a escala varia de -1000 UH a +1000 UH respectivamente, no ar e no osso.

CAPÍTULO III

CIRCUITOS ELETRÔNICOS E SISTEMAS MECÂNICO E ELETROMECAÂNICO

3.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão analisados os subsistemas eletrônico, eletromecânico, mecânico e nuclear, que compõem o minitomógrafo de raio-X e raio- γ .

Quanto aos circuitos eletrônicos, analisaremos sob o ponto de vista de hardware, os subsistemas que compõem o sistema desenvolvido, analisando também em particular, dois dos principais circuitos integrados utilizados, isto é, o microprocessador 6502 e o adaptador de interface de periférico (PIA) 6821.

Serão ainda analisadas, dentro desse contexto, as possibilidades de interfaceamento com a arquitetura do microprocessador 6502.

Quanto aos subsistemas eletromecânicos, analisaremos os circuitos de chaveamento de entrada de energia elétrica, bem como os motores de passo e sua utilização.

Quanto aos subsistemas mecânico e nuclear, analisaremos o sistema óptico para colimação, os colimadores, a fonte, a mesa tomográfica e outras partes mecânicas do equipamento.

3.2 - SUBDIVISÃO DO SISTEMA ELETRÔNICO, ELETROMECAÂNICO, MECÂNICO E NUCLEAR E ANÁLISE ESPECÍFICA DOS SUBSISTEMAS

3.2.1 - ASPECTOS GERAIS

O sistema desenvolvido é composto basicamente pelos subsistemas apresentados no diagrama de blocos da Figura (3.1).

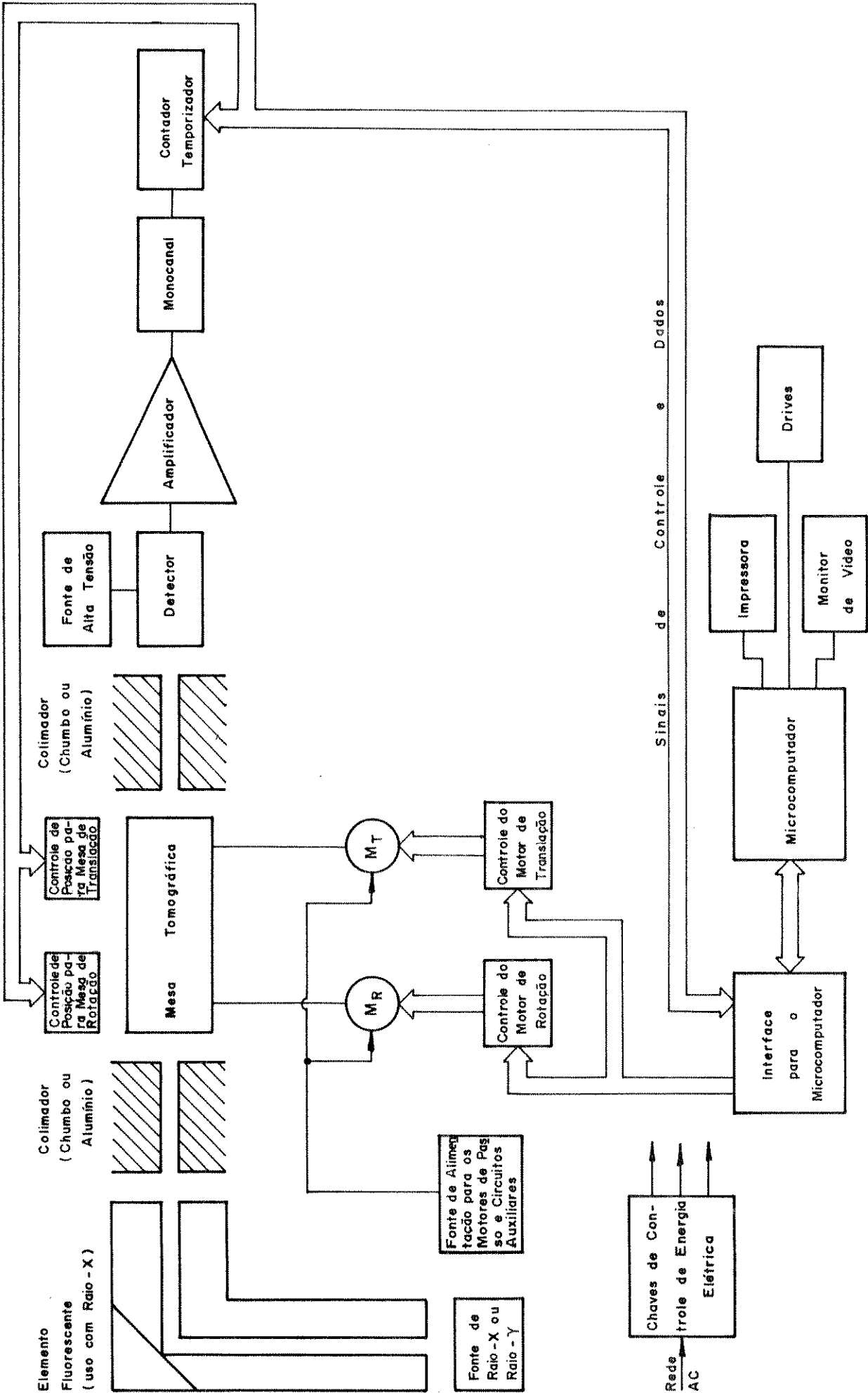


Figura (3.1) - Diagrama de blocos do minitomógrafo de raio-X e raio- γ computadorizado

Assim, o sistema pode ser visualizado como sendo composto por vinte e dois subsistemas.

O controle e o processamento são feitos com o uso de um microcomputador Micro Engenho² acoplado com vídeo de alta resolução, impressora gráfica e dois drivers para floppy-disk de 5 1/4 polegadas.

Desta forma, através de um programa específico para controle e aquisição de dados e de uma interface programável, controla-se os movimentos de rotação e translação da mesa tomográfica com o uso dos motores de passo M_R e M_T e comanda-se funções de interesse na cadeia nuclear.

Tais movimentos, por outro lado, são necessários para efetuar varreduras na amostra para obtenção das projeções de ângulo θ .

Os blocos podem ser ordenados da seguinte maneira:

- (1) Microcomputador
- (2) Impressora Gráfica
- (3) Monitor de Vídeo
- (4) Drivers
- (5) Interface para o microcomputador
- (6) Controle do motor de rotação
- (7) Controle do motor de translação
- (8) Fonte de alimentação para os motores de passo e circuitos auxiliares

- (9) Motor de rotação
- (10) Motor de translação
- (11) Mesa tomográfica
- (12) Controle de posição para mesa de rotação
- (13) Controle de posição para mesa de translação
- (14) Fonte de raio-X ou raio- γ
- (15) Elemento fluorescente (uso com Raio-X)
- (16) Colimadores
- (17) Fonte de alta tensão
- (18) Detector
- (19) Amplificador
- (20) Monocanal
- (21) Contador temporizador
- (22) Chaves de controle de energia elétrica

3.2.2 - SUBSISTEMA MICROCOMPUTADOR

O microcomputador Micro Engenho² foi lançado no mercado pela SPECTRUM e é um sistema compatível ao Apple II Plus e ao Apple IIe quando dispõe do cartão IIe + 80 colunas. É composto por dois módulos básicos, isto é, a unidade central de processamento e a unidade de teclado interligadas por cabo.

Quanto aos aspectos de hardware relativos às possibilidades de interfaceamento com dispositivos periféricos, estes são particulares a arquiteturas compatíveis com o microprocessador 6502.

3.2.2.1 - O MICROPROCESSADOR 6502

O microprocessador 6502 é uma unidade central de processamento de oito bits fabricado em tecnologia NMOS (metal óxido semicondutor canal N) com capacidade de endereçar 64Kbytes.

É disponível comercialmente em versões com frequência de "clock" típica de 1MHz, 2MHz e 3MHz. Se operando na versão de 1MHz, cada instrução necessita entre dois a sete ciclos de clock para ser executada.

Os sinais de entrada e saída do microprocessador 6502 podem ser divididos em três grupos, isto é, grupo de dados, grupo de endereços e grupo de controle.

O Figura (3.2) ilustra em diagrama de blocos a arquitetura interna do microprocessador 6502⁽²⁹⁾.

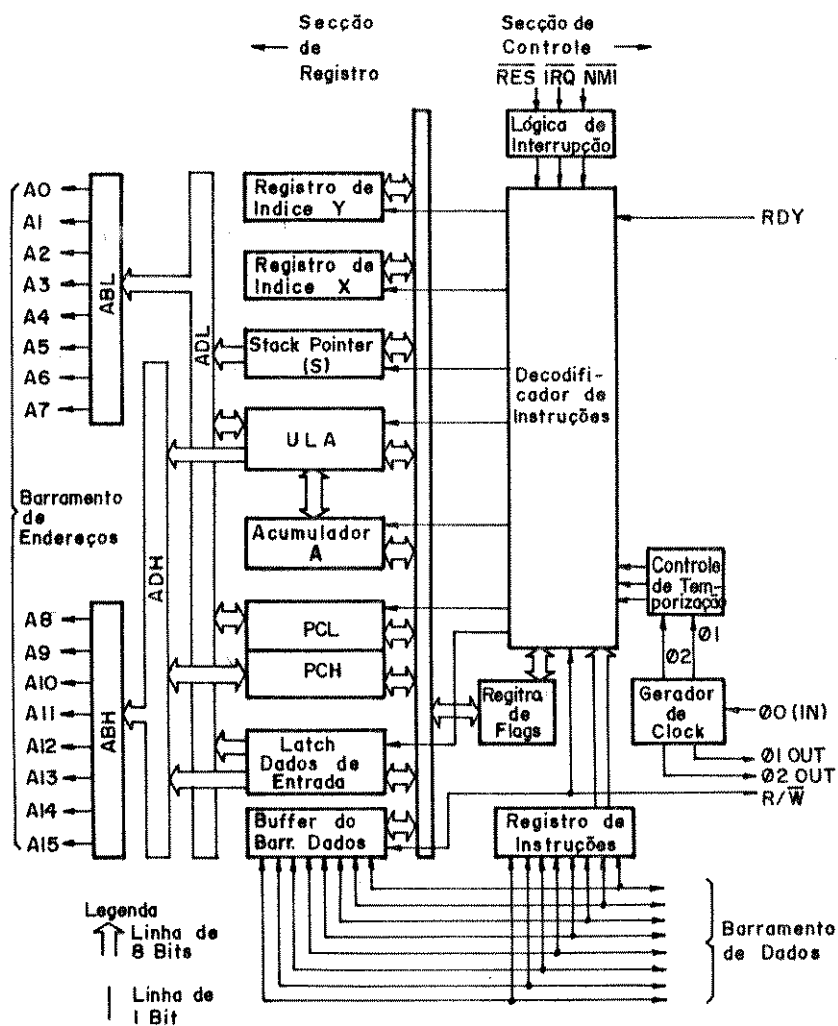


Figura (3.2) - Diagrama de blocos da arquitetura do microprocessador 6502

O barramento de endereços A_0-A_{15} , é um grupo de dezesseis linhas que possibilitam o endereçamento binário de memórias e periféricos.

Esse barramento possibilita ao microprocessador 6502 ler ou escrever em 65536 posições e é unidirecional, com fluxo de saída.

O barramento de dados D_0-D_7 é um grupo de oito linhas, onde dados são transferidos entre o microprocessador 6502 e as memórias ou periféricos.

No ciclo de leitura, os dados são transferidos para o microprocessador 6502 das posições endereçadas, e no ciclo de escrita, os dados são transferidos do microprocessador 6502 para a posição endereçada. Assim, o barramento de dados é bidirecional.

O grupo de controle é constituído por sinais de entrada e saída, isto é:

a) Sinais de Entrada

- Φ_0 - Clock in
- RDY - Ready
- $\overline{\text{NMI}}$ - Non-Maskable Interrupt
- $\overline{\text{IRQ}}$ - Interrupt request
- $\overline{\text{RES}}$ - Reset
- SO - Set overflow

b) Sinais de Saída

- Φ_1 - Clock out
- Φ_2 - Clock out
- R/ $\overline{\text{W}}$ - Read/ $\overline{\text{Write}}$
- SYNC - Sincronismo

- Os sinais de clock do microprocessador 6502 são gerados a partir do sinal de clock de entrada ϕ_0 , isto é, ϕ_1 e ϕ_2 são aproximadamente ondas quadradas com fases opostas e normalmente apresentam um atraso em relação a ϕ_0 .
- O sinal $R/\overline{W}$ controla a direção ou o fluxo de informações no barramento de dados, isto é, quando em nível lógico alto, define que o microprocessador está apto a ler dados e quando em nível lógico baixo, define que o microprocessador está apto a escrever dados em memória ou periféricos endereçados.
- O sinal RDY é utilizado para atrasar um ciclo de leitura do microprocessador 6502, definindo que somente a unidade central de processamento irá ler os dados presentes no barramento de dados quando estes estiverem prontos ou realmente disponíveis. No ciclo de escrita o sinal RDY é ignorado.
- Os sinais $\overline{IRQ}$ e $\overline{NMI}$ são entradas que quando ativadas, em nível lógico baixo, requisitam o microprocessador 6502 para interromper o programa em processamento corrente, colocando-o em uma sub-rotina específica. Após executar esta nova sub-rotina, o processador usualmente retorna ao endereço guardado no stack pointer para o contador de programa, ativando novamente o programa anteriormente interrompido.
- A entrada $\overline{RESET}$ é usada para inicializar o microprocessador 6502 colocando o contador de programa em uma específica posição.

- O sinal de saída SYNC, apresenta nível alto durante o ciclo de busca e pode ser utilizado para sincronismo.
- O sinal SET OVERFLOW é uma entrada que quando ativada (em nível lógico alto), possibilita setar o flag de "overflow".

A Figura (3.3) ilustra o diagrama temporal de leitura e escrita e os sinais de clock do microprocessador 6502

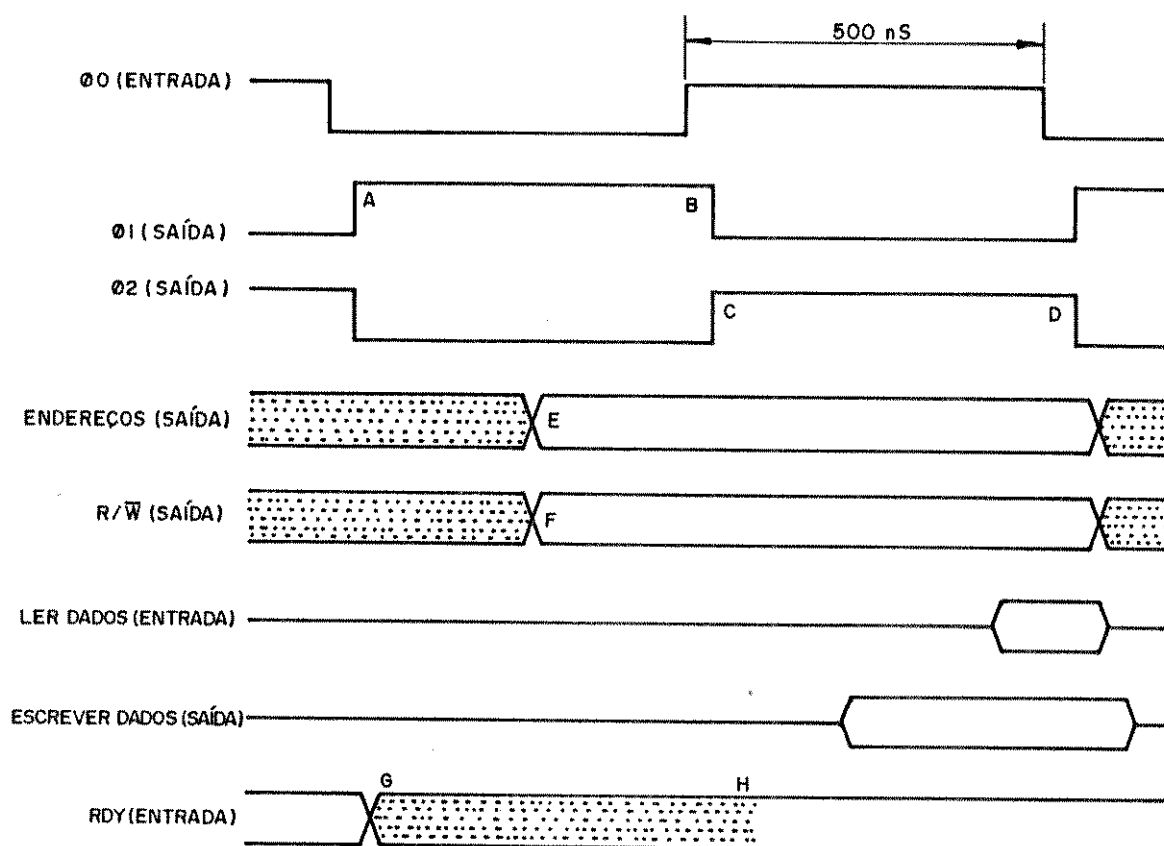


Figura (3.3) - Diagrama Temporal do Microprocessador 6502

Quando se diz que um evento ocorre durante ϕ_1 , refere-se ao tempo no qual ϕ_1 esteja em nível alto, isto é, segmento de A a B da Figura (3.3). Analogamente tem-se o segmento de C a D para ϕ_2 .

A transferência de dados ocorre sempre durante ϕ_2 , visto que o sinal $R/\overline{W}$ e o barramento de endereços estabiliza nos pontos E e F. O sinal RDY pode ser trocado somente durante ϕ_1 ou durante os primeiros 100 ns de ϕ_2 (pontos G e H). Se o sinal RDY tiver nível lógico alto, o ciclo de leitura é completado, se por outro lado, tiver nível lógico baixo, o ciclo será estendido para o próximo ϕ_2 quando RDY será novamente amostrado. Assim, o sinal RDY pode inserir um número inteiro de ciclos de clock ou estados de espera.

A Figura (3.4) ilustra a pinagem do microprocessador 6502 onde pode-se ver que o mesmo utiliza uma simples fonte de +5 volts para alimentação.

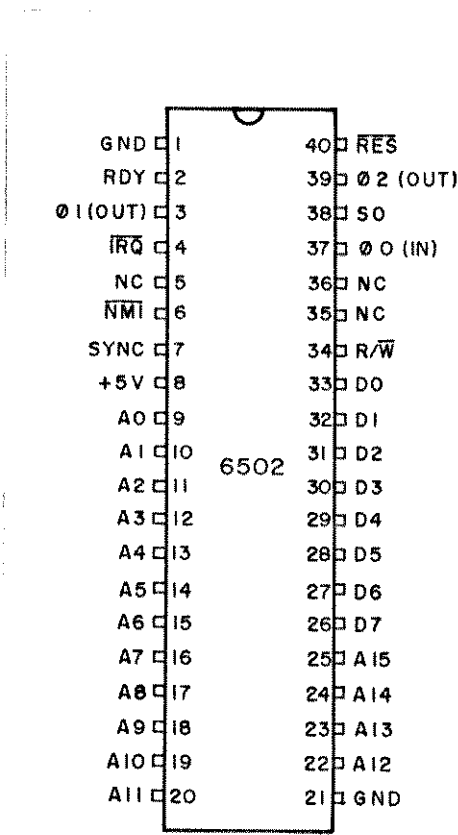


Figura (3.4) - Pinagem do microprocessador 6502

3.2.2.2 - POSSIBILIDADES DE INTERFACEAMENTO

O circuito do microcomputador Micro Engenho² apresenta algumas características únicas com relação a interfaceamento onde o espaço diretamente endereçável é de 64K, sendo que os primeiros 48K, isto é do endereço \$0000 a \$BFFF, são reservados para memórias RAMs^(*) dinâmicas e o espaço disponível para entrada/saída, é mapeada na memória ocupando os 4K seguintes isto é, do endereço \$C000 a \$CFFF. Os últimos 12 K do endereço \$C000 a \$FFFF, são destinados às memórias ROMs^(**) do sistema operacional e da linguagem residente.

O circuito de vídeo é independente do microprocessador e não requer tempo de processamento para a geração dos sinais de vídeo e sincronismo e pode operar sob quatro modos selecionáveis por software, isto é, modo texto, modo gráfico de baixa resolução, modo gráfico de alta resolução e modo misto, isto é, texto e gráfico.

Tem-se para estes quatro modos, as seguintes características:

(*) RAM - Random Access Memory

Memória de acesso aleatório. Memórias cujas informações armazenadas podem ser alteradas pelo usuário. Seu conteúdo pode ser examinado ou lido e também trocado.

(**) ROM - Read-Only-Memory.

Memória somente de leitura. Memória em que as informações estão armazenadas permanentemente. Seu conteúdo pode ser examinado ou lido, mas nunca alterado.

- modo texto 24 linhas de 40 colunas

- modo gráfico de baixa
 resolução 40 por 48 pontos, 15
 cores. Requer 1K de me
 mória de vídeo.

- modo gráfico de alta
 resolução 280 por 142 pontos, dois
 conjuntos de 4 cores, 8K
 de memória de vídeo.

- modo misto 280 por 160 pontos, dois
 conjuntos de 4 cores e
 4 linhas de texto

Esses modos podem ser ativados em duas páginas distintas de memória selecionáveis por software.

A memória de vídeo está mapeada nos 48K de RAM da memória principal.

Como o circuito de vídeo deve varrer a memória continuamente, esta arquitetura adotou um esquema de acesso pontilhado, isto é, durante os 500 nsegundos em que a fase ϕ_2 do clock está em nível lógico alto, os barramentos de endereço e dados da memória RAM são do microprocessador 6502, e nos 500 nsegundos do nível lógico baixo do clock ϕ_2 , os barramentos de endereço e dados da memória, são do circuito de vídeo.

Outra particularidade é que o ciclo de Refresh^(*) das memórias RAM é automático pela varredura de vídeo, o que elimina a necessidade de circuitos específicos.

Uma característica do Micro Engenho² é que possui oito slots na placa principal, os quais possibilitam sua comunicação com o mundo exterior, possibilitando a interligação de circuitos periféricos, uma vez que a seleção de um slot específico pode ser feita para entrada ou saída independentemente.

Os slots são soquetes de 50 pinos destinados conforme mencionado, a expansões ou interfaces.

A Figura (3.5) ilustra a pinagem típica dos slots.

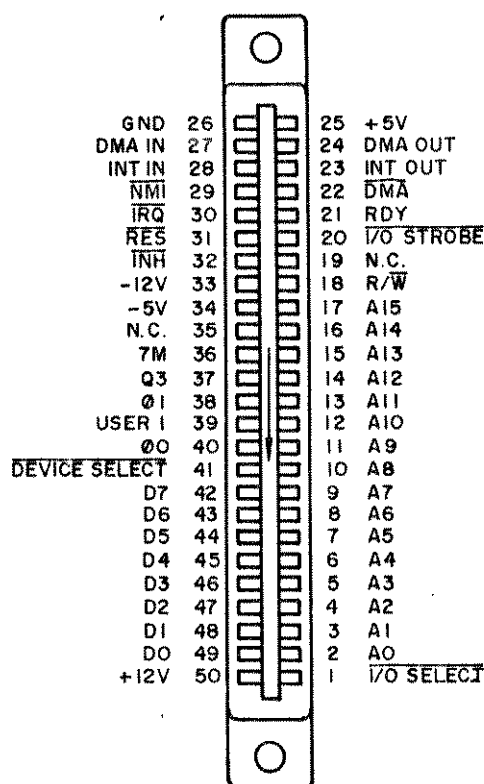


Figura (3.5) - Pinagem dos slots

(*)Refresh - Ciclo responsável em refazer as informações nas memórias RAM do tipo dinâmica.

- $\overline{\text{I/O SEL}}$ pino 1, esse pino vai a nível lógico baixo durante Φ_2 sempre que a página \$Cn reservada ao slot é acessada. No slot 0 este pino não está conectado.
- AD0 - AD15 pinos de 2 a 17, é o barramento de endereços. A interface pode ter o seu controle através do pino DMA.
- $\text{R}/\overline{\text{W}}$ pino 18, define se a operação deverá ser de leitura ou escrita, respectivamente se em nível lógico alto e nível lógico baixo.
- SYNC pino 19, usado para sincronismo horizontal e somente é ligado ao slot 7.
- $\overline{\text{I/OSTB}}$ pino 20, vai a nível lógico baixo sempre que a faixa \$CB00 - \$CFFF for acessada.
- RDY pino 21, quando levado a nível lógico baixo durante Φ_1 obriga o microprocessador 6502 esperar até o próximo ciclo de clock.
- $\overline{\text{DMA}}$ pino 22, se for levado a nível lógico baixo durante o início de Φ_1 , a interface assume o controle do barramento de dados, endereços e da linha de $\text{R}/\overline{\text{W}}$.

- INT OUT pino 23, se em nível lógico baixo indica aos próximos slots (de 0 a 7), que uma interrupção de prioridade mais alta está sendo atendida. Este sinal forma com o sinal INT IN uma cadeia de prioridades através dos slots.
- DMA OUT pino 24, quando em nível lógico baixo informa aos slots de menor prioridade, que uma operação de DMA está sendo processada. Forma com DMA IN uma cadeia do tipo "daisy chain". O slot 0 tem maior prioridade e o slot 7, a menor.
- +5V pino 25, alimentação para TTL, 500 mA.
- GND pino 26, terra.
- DMA IN pino 27, vem dos slots de maior prioridade. Quando em nível lógico baixo, deve inibir qualquer operação de DMA em curso no slot.
- INT IN pino 28, vem dos slots de maior prioridade. Quando em nível lógico baixo, deve inibir qualquer solicitação de interrupção por parte do slot.
- $\overline{\text{NMI}}$ pino 29, aciona a interrupção não mascarável do microprocessador 6502.
- $\overline{\text{IRQ}}$ pino 30, aciona a interrupção mascarável do microprocessador 6502.

- $\overline{\text{RESET}}$ pino 31, pino bidirecional, ativo em nível lógico baixo. Pode ser usado para inicializar a placa de interface ou ainda ser controlado pela própria interface para inicializar o computador.
- $\overline{\text{INH}}$ pino 32, se em nível lógico baixo, inibe as memórias ROMs localizadas entre \$D000 e \$FFFF
- -12V pino 33, alimentação -12Volts, 200mA.
- -5V pino 34, alimentação -5Volts, 200mA.
- COLOR REF pino 35, portadora de cor com frequência 3.579545MHz, disponível somente no slot 7.
- 7M pino 36, clock de 7.15909MHz, com capacidade de FAN OUT de 2 cargas LSTTL.
- Q3 pino 37, clock de 2.040968MHz, assimétrico, com capacidade de FAN OUT de 2 cargas LSTTL.
- Φ_1 pino 38, clock Φ_1 do microprocessador 6502, com frequência de 1.020484MHz.
- $\overline{\text{USER1}}$ pino 39, usado para inibir o espaço de Entrada/Saída compreendido entre \$C000 e \$C7FF.
- Φ_0 pino 40, clock Φ_0 do microprocessador 6502, complementar a Φ_1 com frequência de 1.020484 MHz.

- $\overline{\text{DEV SEL}}$ pino 41, esse pino vai a nível lógico baixo sempre que um dos 16 endereços de acesso ao slot for acessado, isto é, na faixa $\$C0m0$ a $\$C0mF$ onde m é o número do slot mais 8.
- D0 - D7 pinos 42 a 49, barramento de dados bidirecional, cujo sentido é controlado pelo pino $R/\overline{W}$.
- +12V pino 50, alimentação +12Volts, 250 mA.

Os 16 endereços de acesso a cada slot são destinados a comunicação entre as interfaces e o microcomputador.

O espaço de 256 bytes ou melhor, a memória de 256 páginas de 256 bytes reservado a cada slot, é destinado em princípio a conter memórias ROMs e está compreendido entre os endereços $\$Cn00$ e $\$CnFF$, onde n é o número do slot. O slot 0 não dispõe deste espaço uma vez que o mesmo é utilizado no controle do hardware interno do microcomputador e, com exceção deste slot, os demais têm o pino $\overline{\text{I/O SEL}}$ que vai a nível lógico baixo sempre que a área de 256 bytes do slot for acessada.

Os sinais $\overline{\text{I/O SEL}}$, $\overline{\text{I/O STB}}$ e $\overline{\text{DEV SEL}}$, bem como todos os sinais de habilitação, são sincronizados com a fase ϕ_2 do clock. Este sincronismo é feito para que haja separação entre o endereçamento do microprocessador 6502, e dessa forma há sempre 500 nsegundos entre os acessos ao espaço endereçável deixando assim, tempo suficiente para que as linhas de dados e endereços possam se estabilizar.

Por outro lado, dispositivos como memórias RAM, ROM, PROM e dispositivos de Entrada/saída mapeados na memória tais como Adaptador de Interface de Periféricos (PIA), possuem pinos para seleção. Estes pinos são os conhecidos habilitadores CS ou $\overline{CS}$, respectivamente, ativos com nível lógico alto e nível lógico baixo.

O lay-out das linhas de endereços decodificadas para acessar tais dispositivos com o microcomputador Micro Engenho² pode ser visto na Figura (3.6)⁽³⁰⁾.

DISPOSITIVOS	LINHAS DE ENDEREÇOS A ₁₅ - A ₀																ENDEREÇOS EM HEXADECIM.
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
RAM 1	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0000
RAM 2	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4000
RAM 3	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	8000
E/S	1	1	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C000
ROM 1	1	1	0	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	D000
ROM 2	1	1	0	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	D800
ROM 3	1	1	1	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	E000
ROM 4	1	1	1	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	E800
ROM 5	1	1	1	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	F000
ROM 6	1	1	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	F800

Figura (3.6) - Lay-out para acessar dispositivos com o Micro Engenho²

3.2.2.3 - DECODIFICANDO A ÁREA DISPONÍVEL PARA ENTRADA/SAÍDA

A faixa de endereços de \$C800 a \$CFFF define na saída Z1 do decodificador 74LS138 da Figura (3.7) nível lógico baixo.

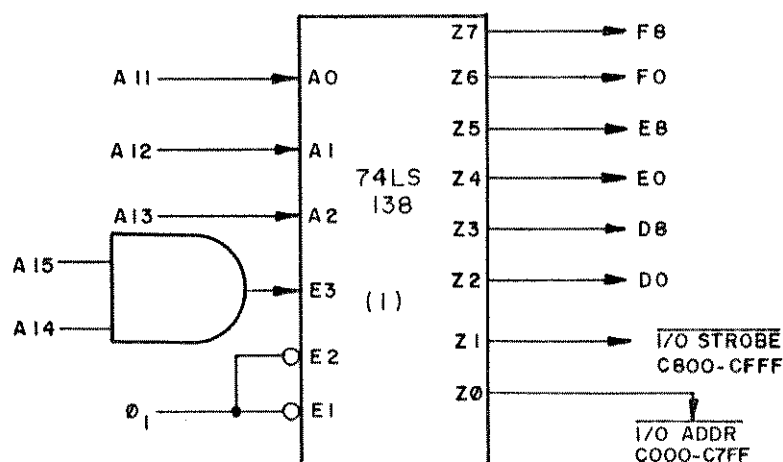


Figura (3.7) - Um 74LS138 é utilizado para produzir sinais de seleção no Micro Engenho²

Assim, esta saída Z1 é enviada diretamente aos pinos 20, I/O STROBE, dos slots periféricos de Entrada/Saída.

A saída Z0 do 74LS138 vai a nível lógico baixo para endereços entre \$C000 e \$C7FF e é utilizada para habilitar outros 74LS138, conforme ilustra a Figura (3.8).

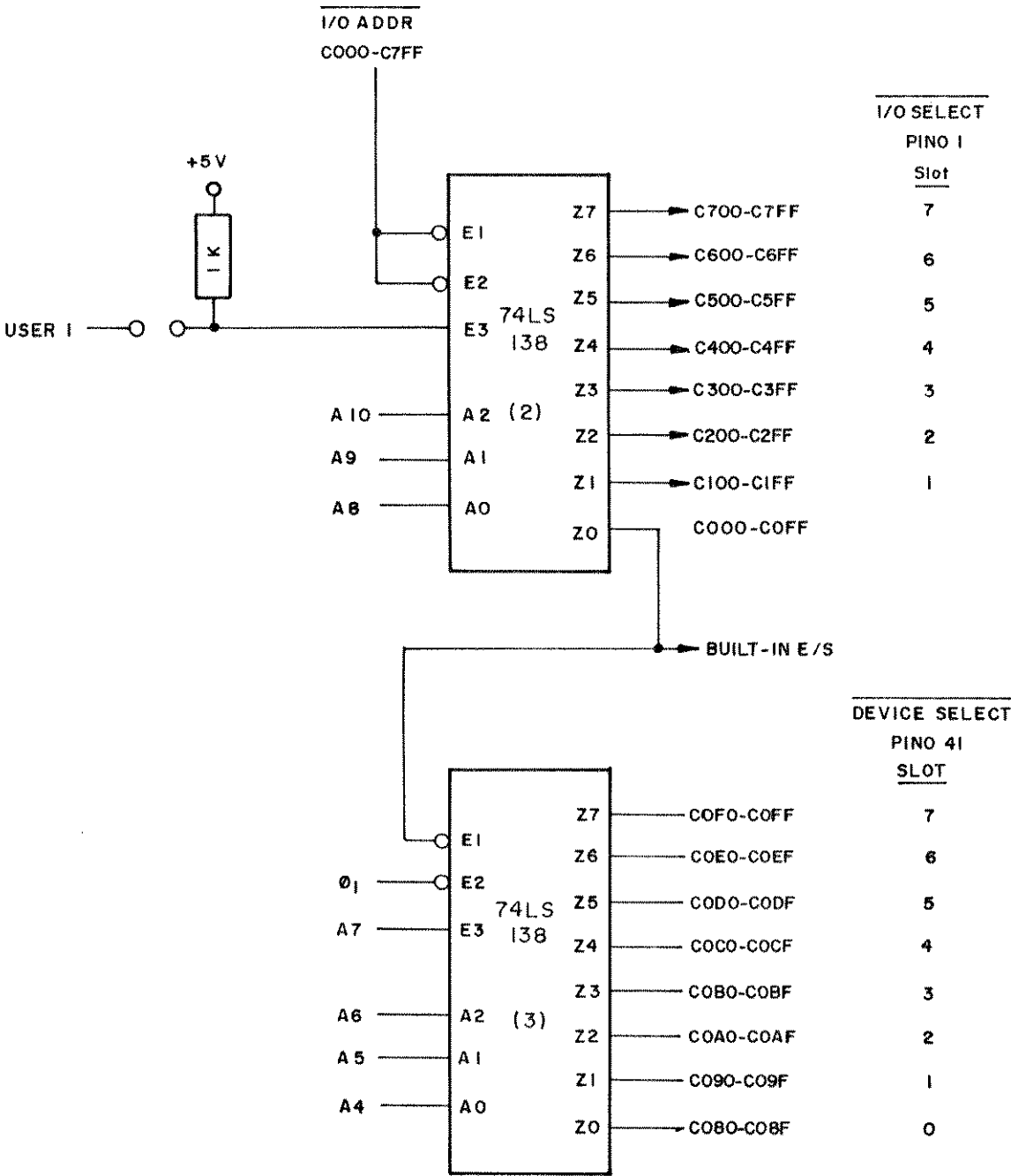


Figura (3.8) - Decodificação para Dispositivos de E/S

O 74LS138 número (2) utiliza as linhas de endereço A8 - A10 para decodificar os endereços na faixa \$C000-\$C7FF em oito blocos de 256 bytes cada, conforme o lay-out visto na Figura (3.9).

I/O SELECT	LINHAS DE ENDEREÇOS A ₁₅ - A ₀																FAIXA DE ENDEREÇOS	
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
SLOT 1	1	1	0	0	0	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	C100	C1FF
SLOT 2	1	1	0	0	0	0	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	C200	C2FF
SLOT 3	1	1	0	0	0	0	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	C300	C3FF
SLOT 4	1	1	0	0	0	1	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	C400	C4FF
SLOT 5	1	1	0	0	0	1	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	C500	C5FF
SLOT 6	1	1	0	0	0	1	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	C600	C6FF
SLOT 7	1	1	0	0	0	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	C700	C7FF
PROM	1	1	0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	C800	CFFF

Figura (3.9) - Lay-out para acessar dispositivos de E/S na faixa de endereços de \$C000 a \$C7FF

Assim, as saídas de Z1 a Z7 do segundo 74LS138 são enviadas aos pinos 1 I/O SELECT, dos slots de 1 a 7 respectivamente. Desta forma a linha I/O SELECT irá para nível lógico baixo sempre que um endereço na faixa Cn00 a CnFF for referenciado, onde n é o número do slot e, conforme já mencionado nos aspectos básicos, este sinal não é disponível no slot 0.

A saída Z0 do segundo 74LS138 a qual decodifica os endereços na faixa de \$C000 a \$C0FF é utilizada para habilitar outro 74LS138 e também é enviada a outro circuito para decodificar endereços entre \$C000 e \$C07F. O terceiro 74LS138 habilitado por Z0 do segundo, utiliza as linhas de endereços A4-A7 para decodificar a faixa de endereços de \$C080 a \$C0FF em oito blocos de 16 bytes de acordo com o lay-out visto na Figura (3.10).

DEV. SEL.	LINHAS DE ENDEREÇOS A ₁₅ - A ₀																FAIXA DE ENDEREÇOS	
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
BUILT-IN I/O			0	0	0	0	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	C000	C070
SLOT 0			0	0	0	0	0	0		0	0	0					C080	C080
SLOT 1			0	0	0	0	0	0		0	0						C090	C090
SLOT 2			0	0	0	0	0	0		0		0					COA0	COF0
SLOT 3			0	0	0	0	0	0		0							COB0	COE0
SLOT 4			0	0	0	0	0	0			0	0					COCO	CODO
SLOT 5			0	0	0	0	0	0			0						CODO	COCO
SLOT 6			0	0	0	0	0	0				0					COEO	COB0
SLOT 7			0	0	0	0	0	0									COFO	COAO

Figura (3.10) - Lay-out para acessar dispositivos de E/S na faixa de endereços de \$C080 a \$C0FF

As saídas de Z0 a Z7 desse terceiro 74LS138 são enviadas aos pinos 41, DEVICE SELECT dos slots periféricos e assim, cada slot tem 16 bytes decodificados na faixa de endereços \$C0n0 a \$C0nF, onde n é o número do slot mais oito, conforme mencionado anteriormente.

3.2.2.4 - ADAPTADOR DE INTERFACE DE PERIFÉRICO (PIA)

Grande parte dos microprocessadores apresentam uma família de circuitos auxiliares, os quais são utilizados para simplificar os problemas de interfaceamento com os periféricos.

O PIA 6821, foi desenvolvido pela Motorola para dar suporte à família do MPU 6800, contudo, este circuito pode ser utilizado em projetos com outros microprocessadores como por exemplo o 6502.

O diagrama de blocos de dois sistemas típicos que usam PIA podem ser visualizados na Figura (3.11).

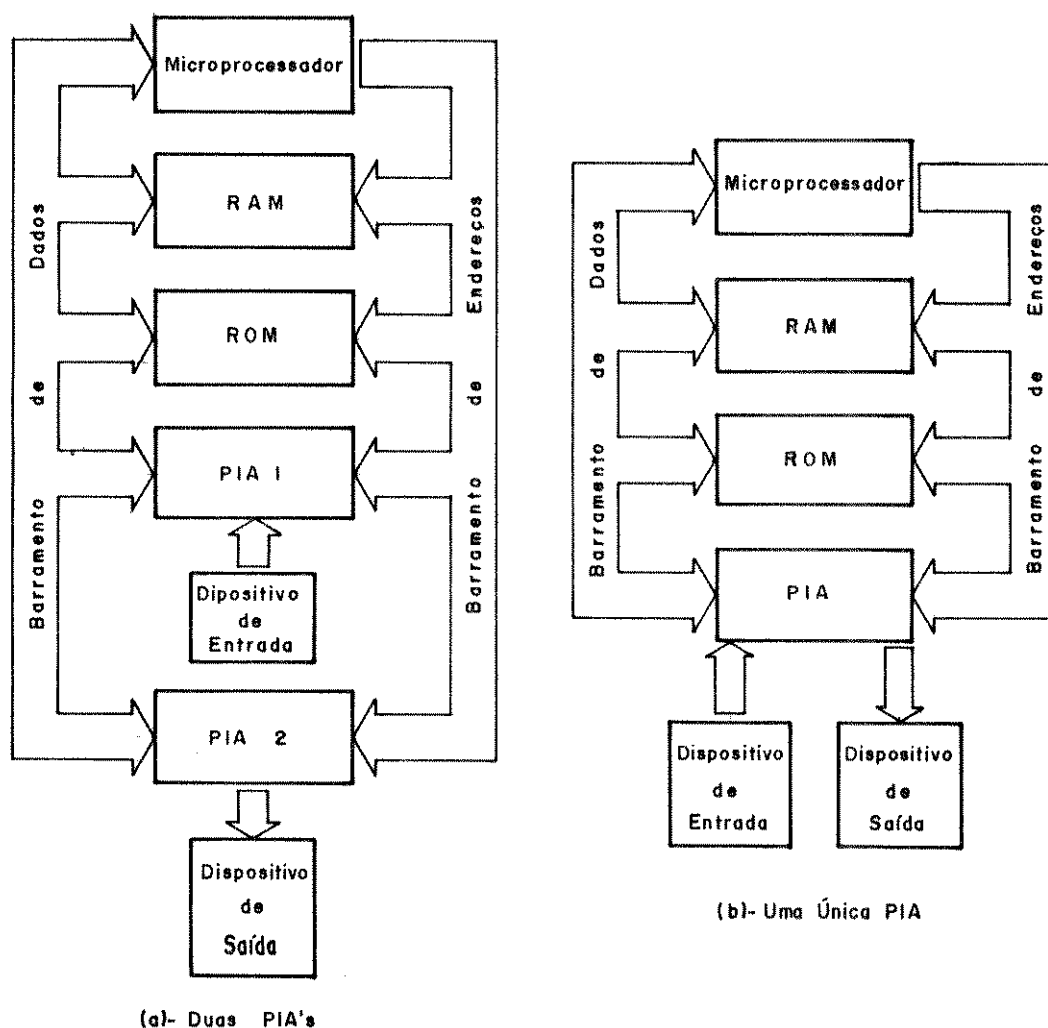


Figura (3.11)- Interfaces para dispositivos de Entrada e Saída usando PIA

A princípio, qualquer dispositivo periférico pode ser interligado a um microprocessador usando lógica convencional. Contudo, a implementação de sistemas com lógica convencional requer um número relativamente grande de circuitos.

Assim, o uso de PIA otimiza o projeto, possibilitando implementar interfaces com poucos circuitos suplementares.

Outra grande vantagem de seu uso está em que o PIA pode efetuar muitas tarefas das rotinas de controle de periféricos, deixando a unidade central de processamento livre para manusear tarefas mais importantes e pode ainda agir como um Buffer entre o microprocessador e dispositivos de Entrada e Saída de baixa velocidade.

Pode-se dizer que a principal característica de um PIA é que é um circuito programável possibilitando assim flexibilidade de uso uma vez que, por exemplo, uma porta de saída pode ser mudada para uma porta de entrada no meio de um processamento.

A arquitetura interna do PIA pode ser vista na Figura (3.12), onde um lado é conectado ao microprocessador e o outro à circuitos ou dispositivos periféricos.

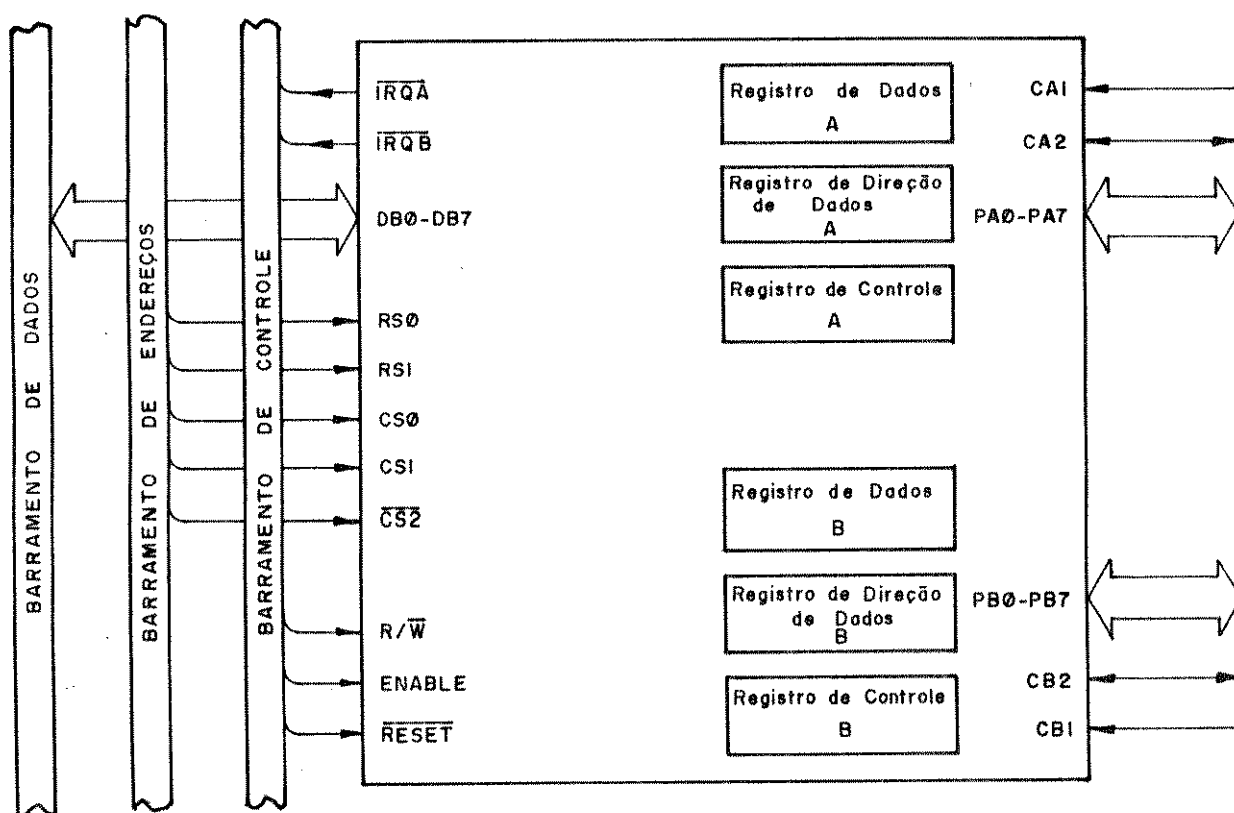


Figura (3.12)- Arquitetura interna do PIA

Cada lado do PIA tem três registros principais de oito bits, os quais recebem os nomes de registro de dados, registro de direção de dados e registro de controle.

O registro de dados é usado para guardar o byte de dados que está sendo transferido para o barramento de dados do periférico. Este registro atua como uma localização temporária de memória para os dados transferidos do microprocessador para os dispositivos periféricos.

O registro de direção de dados possibilita programar de forma individual cada linha das portas A e B, isto é, como entradas ou saídas. Se em nível lógico um, a respectiva linha será saída e se em nível lógico zero, a respectiva linha será entrada.

Desta forma, cada linha de dados do periférico pode ser mudada de entrada para saída apenas com a mudança do software de controle.

O registro de controle permite programar o PIA em diversos modos de operação. Cada bit deste registro apresenta uma particular função, isto é, interrupções, execução de rotinas específicas e seleção dos registros de dados e direção de dados.

A Figura (3.13) ilustra a pinagem do Adaptador de Interface Periférico PIA 6821.

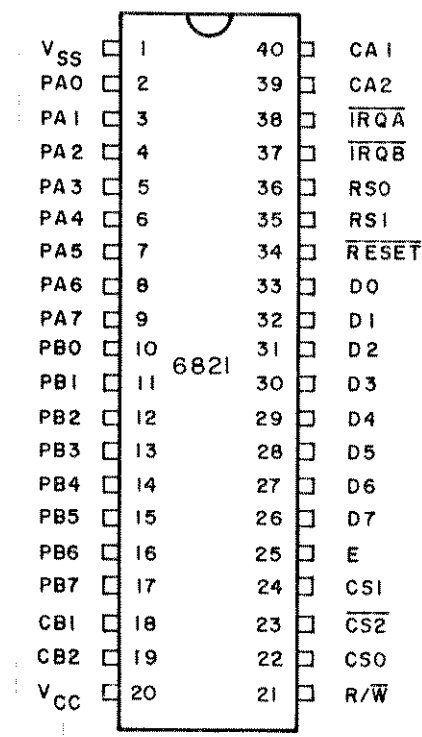


Figura (3.13)- Pinagem do PIA 6821

D0 - D7 - Barramento bidirecional de dados

V_{SS} e V_{CC} - GND e fonte de +5 Volts

E - Sincronismo operacional clock Φ_2

$\overline{\text{RESET}}$ - A entrada $\overline{\text{RESET}}$ é utilizada para inicializar o PIA, colocando zeros lógicos nos registros internos

R/ $\overline{\text{W}}$ - O sinal de entrada R/ $\overline{\text{W}}$ se em nível lógico baixo permite que dados sejam transferidos do microprocessador para o PIA e, se em nível lógico alto permite que dados sejam transferidos do PIA para o microprocessador.

RS1 e RS0 - São entradas utilizadas para selecionar os vários registros internos do PIA. São geralmente conectados às linhas A₀ e A₁ e são utilizadas em conjunto com o registro de controle.

O pino RS1 seleciona a porta, isto é, PA ou PB, respectivamente se tiver nível lógico zero ou um.

O pino RS0 seleciona os registros da porta, isto é, registro de dados, registro de direção de dados ou registro de controle.

Se RS0 for nível lógico zero, há seleção dos registros de dados e direção de dados, isto em função do status do bit 2 do registro de controle.

Se RS0 for nível lógico um, será selecionado o registro de controle.

Assim, se o status do bit 2 do registro de controle for nível lógico zero e RS0 tiver nível lógico zero, será selecionado o registro de direção de dados; e se RS1 tiver nível lógico um, será selecionado o registro de direção de dados

da porta B.

Para a programação do PIA, são necessários alocar quatro endereços, isto é:

ENDEREÇO	CS0	CS1	$\overline{CS2}$	RS1	RS0	REGISTRO SELECIONADO
5000	1	1	0	0	0	DDRA ou DRA*
5001	1	1	0	0	1	CRA
5002	1	1	0	1	0	DDRB ou DRB*
5003	1	1	0	1	1	CRB

onde DDRA e DDRB são os registros de direção de dados, DRA e DRB são os registros de dados e CRA e CRB são respectivamente os registros de controle das portas A e B.

* Depende de status do bit 2 do registro de controle.

CS0, CS1, $\overline{CS2}$ = São três linhas de seleção do PIA. Quando CS0 e CS1 forem levados a nível lógico alto e CS2 a nível lógico baixo, o PIA será selecionado.

3.2.3 - SUBSISTEMA IMPRESSORA GRÁFICA

Este subsistema é composto por uma impressora GRAFIX-80 a qual apresenta as seguintes características técnicas fornecidas pelo fabricante:

- Método de impressão Impacto por matriz de pontos
- Direção de impressão Bidirecional com busca lógica
- Número de agulhas na cabeça 9
- Matriz 9 x 9
- MTBF da impressora 5.000.000 linhas
- Conjunto de caracteres 255 caracteres ASCII
- Interface Paralela tipo Centronics
- Modos de Impressão Normal, duplo, enfatizado e duplo enfatizado
- Modo gráfico Bit-Image
- Alimentação 110 ou 220V - 49,5 a 60 Hz

Apresenta ainda as seguintes especificações:

- Velocidade de impressão 80 cps
- Largura do papel 4 a 10 polegadas
- Colunas
 - Normal 80
 - Dupla largura 40
 - Comprimida 132
 - Dupla largura comprimida .. 60
- Dimensões 107 x 374 x 305mm
- Peso 5,5Kg

Esta impressora tem capacidade gráfica para impressão de desenhos, gráficos e imagens de alta resolução com 120 pontos por polegada.

3.2.4 - SUBSISTEMA MONITOR DE VÍDEO

Este subsistema é constituído por um monitor de vídeo VIDEOCOMPO de 12", colorido, podendo operar no modo texto ou gráfico de baixa ou alta resolução.

Apresenta as seguintes características técnicas fornecidas pelo fabricante:

a) Modo Texto

- 40 caracteres por linha, 24 linhas
- vídeo normal, reverso e piscante
- controle pleno do curso

b) Modo Gráfico

b.1) Baixa Resolução

- 40h x 48V ou 40h x 40V com quatro linhas de texto
- dezesseis cores seleccionáveis por software

b.2) Alta Resolução

- 280h x 192V ou 280h x 160V com seis cores seleccionáveis por software

3.2.5 - SUBSISTEMA DRIVERS

Este subsistema é formado por dois acionadores de disco flexível 5 1/4" BR390. São equipamentos de acesso aleatório destinados à gravação, armazenamento e reprodução de dados.

Os drivers apresentam as seguintes características técnicas, fornecidas pelo fabricante:

a) Características de desempenho ou capacidade em bytes

- Não Formatada

Por disco 143.360

Por trilha 4.096

- Formatada por Software (16 setores por trilha)

Por disco 126.976

Por trilha 3.713

Por setor 128

- Taxa de Transferência 125 Kbits/s

- Latência média 100 ms

- Tempo de acesso

Trilha a trilha 20 ms

Média 240 ms

Tempo de estabilização 20 ms

b) Características funcionais

- Velocidade de rotação 300rpm

- Densidade de gravação 2.768bpp

- Densidade de fluxo 5.536mfp

- Densidade de trilhas 48tpp

- Número de trilhas 35

- Método de gravação FM

c) Características físicas

- Limites ambientais

Temperatura 4°C a 46°C

Umidade Relativa 20 a 80% sem condensação

Temperatura máxima de
bulbo úmido 29,4°C

- Alimentação DC

 $V_1 = +12V \pm 5\%$ $I = 1,8A$ (máximo) $V_2 = +5V \pm 5\%$ $I = 0,7A$ (máximo)

- Dimensões 83 x 146 x 203mm

- Peso 1,36Kg

- Potência dissipada

Operação 13,3W

Stand by 7,3W

d) Características de confiabilidade

- MTBF 8.000 horas (típica)

- MTTR 30 minutos

- Taxa de Erros

de leitura recuperáveis 10^{-9} de leitura irrecuperáveis 10^{-12} de procura 10^{-6}

3.2.6 - SUBSISTEMA INTERFACE PARA O MICROCOMPUTADOR

Este subsistema é o principal responsável pela interligação das partes componentes do sistema como um todo. É composto basicamente por dois Adaptadores de Interface de Periférico (PIA's) cuja forma operativa foi analisada na secção 3.2.2.4, dois circuitos integrados 74LS04 e 74LS14, ambos de tecnologia TTL⁽³¹⁾ e seis circuitos integrados CD4050 de tecnologia CMOS⁽³²⁾.

Uma vez que o microcomputador Micro Engenho² tem disponível oito slots para dispositivos periféricos e basicamente os slots 0, 1, 2, 3 e 7 são utilizados respectivamente para o hardware interno do próprio microcomputador, impressora, placa Ite+80 colunas, placa CP/M e vídeo colorido, restaram os slots 4, 5 e 6 para possibilidades de interconecção. Assim, optamos por projetar o software de controle e aquisição de dados para a interface, de tal forma que esta esteja conectada ao slot 5.

3.2.6.1 - DEFINIÇÃO DOS ENDEREÇOS PARA OS PIA's E OS SINAIS DAS PORTAS PA E PB

A Figura (3.10) ilustra o lay-out para acessar dispositivos de E/S na faixa de endereços \$C080 a \$C0FF.

Ao slot 5 é destinada a faixa de endereços de \$C0D0 a \$C0DF logo, para os dois PIA's termos os quadros de endereços abaixo, isto é:

a) Adaptador de Interface de Periférico A, (PIAA)

ENDEREÇO	FUNÇÃO	ENDEREÇO EM DECIMAL
\$CØDØ	Dados PA	49360
\$CØD1	Controle PA	49361
\$CØD2	Dados PB	49362
\$CØD3	Controle PB	49363

b) Adaptador de Interface de Periférico B, (PIAB)

ENDEREÇO	FUNÇÃO	ENDEREÇO EM DECIMAL
\$CØDC	Dados PA	49372
\$CØDD	Controle PA	49373
\$CØDE	Dados PB	49374
\$CØDF	Controle PB	49375

A porta A (PA) do Adaptador de Interface de Periférico A, (PIAA) é toda programada como saída uma vez que através dela deverão passar todos os sinais para os controladores dos motores de rotação e translação, M_R e M_T .

Assim, teremos para o Registro de Direção de Dados de PA, (DDRA) a seguinte configuração:

	PA7	PA6	PA5	PA4	PA3	PA2	PA1	PA0
(DDRA)	1	1	1	1	1	1	1	1

Para a porta em questão (PA), da PIAA, temos os seguintes sinais, enviados através do registro de dados (DRA):

	PA7	PA6	PA5	PA4	PA3	PA2	PA1	PA0
(DRA)	Controle ₂	Clear _T	Controle ₁	Clock _T	Controle ₂	Clear _R	Controle ₁	Clock _R

onde os quatro bits mais significativos são enviados à placa de controle do motor de passo para a mesa de translação e os quatro bits menos significativos são enviados à placa de controle do motor de passo para a mesa de rotação.

A porta B, (PB) do Adaptador de Interface de Periférico A (PIAA), é programada parte como entrada, e parte como saída, isto é, as portas 0 e 1 são programadas como saída e as portas 2, 3 e 4 como entradas. As portas PB5, PB6 e PB7 não são utilizadas. Assim temos a seguinte configuração para o Registro de Direção de Dados da porta B (DDRB):

	PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0
(DDRB)	X	X	X	Ø	Ø	Ø	1	1

Para a porta em questão (PB), da PIAA, temos os seguintes sinais a serem enviados e recebidos através do registro de dados (DRB):

	PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0
(DRB)	X	X	X	Posição da mesa de translação	Posição da mesa de rotação	Teste de final de contagem	Libera contadores	Zera contadores

Os sinais correspondentes aos bits 3 e 4 isto é "Posição da Mesa de Translação" e "Posição da Mesa de Rotação, são recebidos das placas de controle de posição das mesas de translação e rotação respectivamente.

Os sinais correspondentes aos bits 0 e 1 são enviados do microcomputador para os contadores da cadeia de medidas nucleares enquanto que, o sinal correspondente ao bit 2, isto é, "Teste de Final de Contagem" é enviado dos contadores para o microcomputador.

Por outro lado, a porta A (PA) do Adaptador de Interface de Periférico B (PIAB), foi escolhida para a aquisição dos dados decorrentes das projeções de ângulo θ do corpo ou amostra em estudo e assim, as portas em uso são programadas como entradas e as portas PA4 a PA7 não são utilizadas, uma vez que os dados provenientes da cadeia de medida nuclear, são codificados em BCD. Assim, o Registro de Direção de Dados de PA (DDRA), para o Adaptador de Interface de Periférico PIAB, apresenta a seguinte configuração:

	PA7	PA6	PA5	PA4	PA3	PA2	PA1	PA0
(DDRA)	X	X	X	X	Ø	Ø	Ø	Ø

Para o Registro de Dados (DRA), teremos então, a seguinte configuração:

	PA7	PA6	PA5	PA4	PA3	PA2	PA1	PA0
(DRA)	X	X	X	X	D ₈	D ₄	D ₂	D ₁

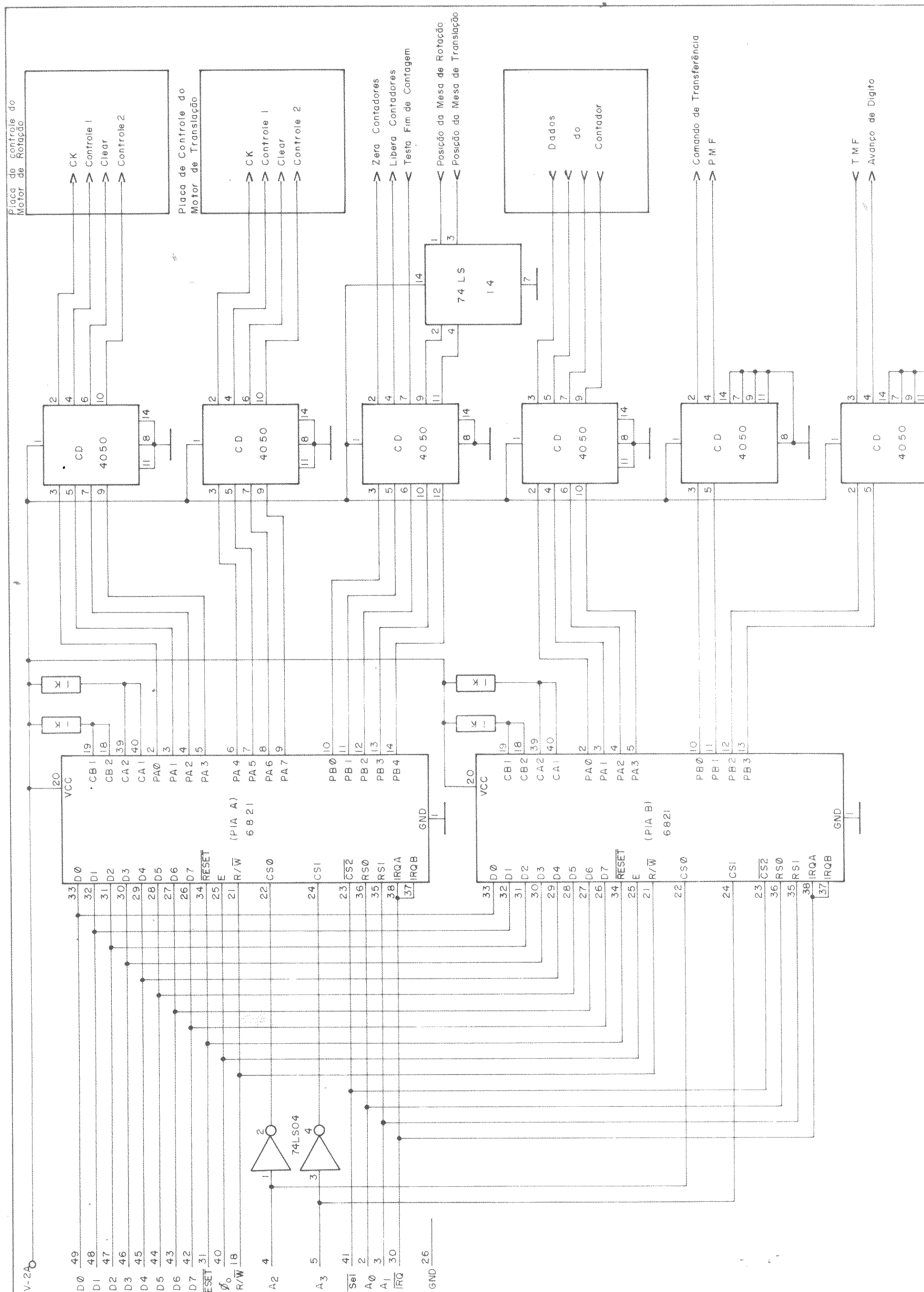
A porta B (PB), do Adaptador de Interface de Periférico B (PIAB), é programada de tal forma a possibilitar o controle dos sinais Transferência de Dados (IMPRIME), Avanço de Impressão, PMF e TMF, sendo que os três primeiros sinais são enviados do computador para a cadeia de medida nuclear, enquanto que o sinal TMF é enviado da cadeia nuclear para o microcomputador.

Assim, temos a seguintes configuração para o Registro de Direção de Dados da porta B, (DDRB):

	PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0
(DDRB)	X	X	X	X	1	0	1	1

Para o Registro de Dados (DRB), teremos então a seguinte configuração:

	PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0
(DRB)	X	X	X	X	Avanço de Dígito (Impressão)	TMF	DMF	Transferência de Dados (Imprime)



Por outro lado, o circuito integrado 74LS04 é utilizado para decodificar os endereços dos dois Adaptadores de Interface de Periférico e o circuito integrado 74LS14 é utilizado como Schmitt-Trigger para os sinais utilizados na definição de posições de interesse da mesa tomográfica.

Os circuitos integrados CD4050 são utilizados como Buffers de linha, melhorando as condições de Fan-out da interface.

A Figura (3.14) ilustra o diagrama esquemático desse subsistema.

Figura (3.14) - Diagrama Esquemático da Interface

3.2.7 - SUBSISTEMAS PLACAS DE CONTROLE DOS MOTORES DE ROTAÇÃO E TRANSLAÇÃO

Estes subsistemas têm como objetivo gerar os sinais necessários para acionar o motor de passo da mesa de rotação, M_R , definindo conjuntamente o sentido de giro, isto é, se horário ou anti-horário e ainda através de um segundo sinal de controle proveniente da interface, deixar, quando necessário, o estágio de potência da placa em "stand-by" desativando os transistores de chaveamento.

Basicamente este circuito pode ser subdividido em três partes ou blocos, de acordo com as funções que executam, isto é, circuito de lógica, circuito de controle e circuito de potência.

Quanto ao circuito de lógica, este é formado pelos circuitos integrados 74LS76, 74LS08, 74LS02 e 74LS05⁽³¹⁾, os quais desempenham as funções de contadores de quatro bits, codificador e estágio em coletor aberto para acoplamento ao estágio de potência.

Quanto ao estágio de controle, este é constituído pelos circuitos integrados CD4066⁽³²⁾ e 74LS04 e apresenta as funções de definir o sentido de giro dos motores com a respectiva inversão de uma das fases ou sinais necessários e manter em stand-by o estágio de potência com o desacoplamento dos transistores de saída.

Por outro lado, o estágio de potência é constituído por transistores Darlington do tipo TIP122 os quais possibilitam boas características de chaveamento e permitem chavear as elevadas correntes necessárias.

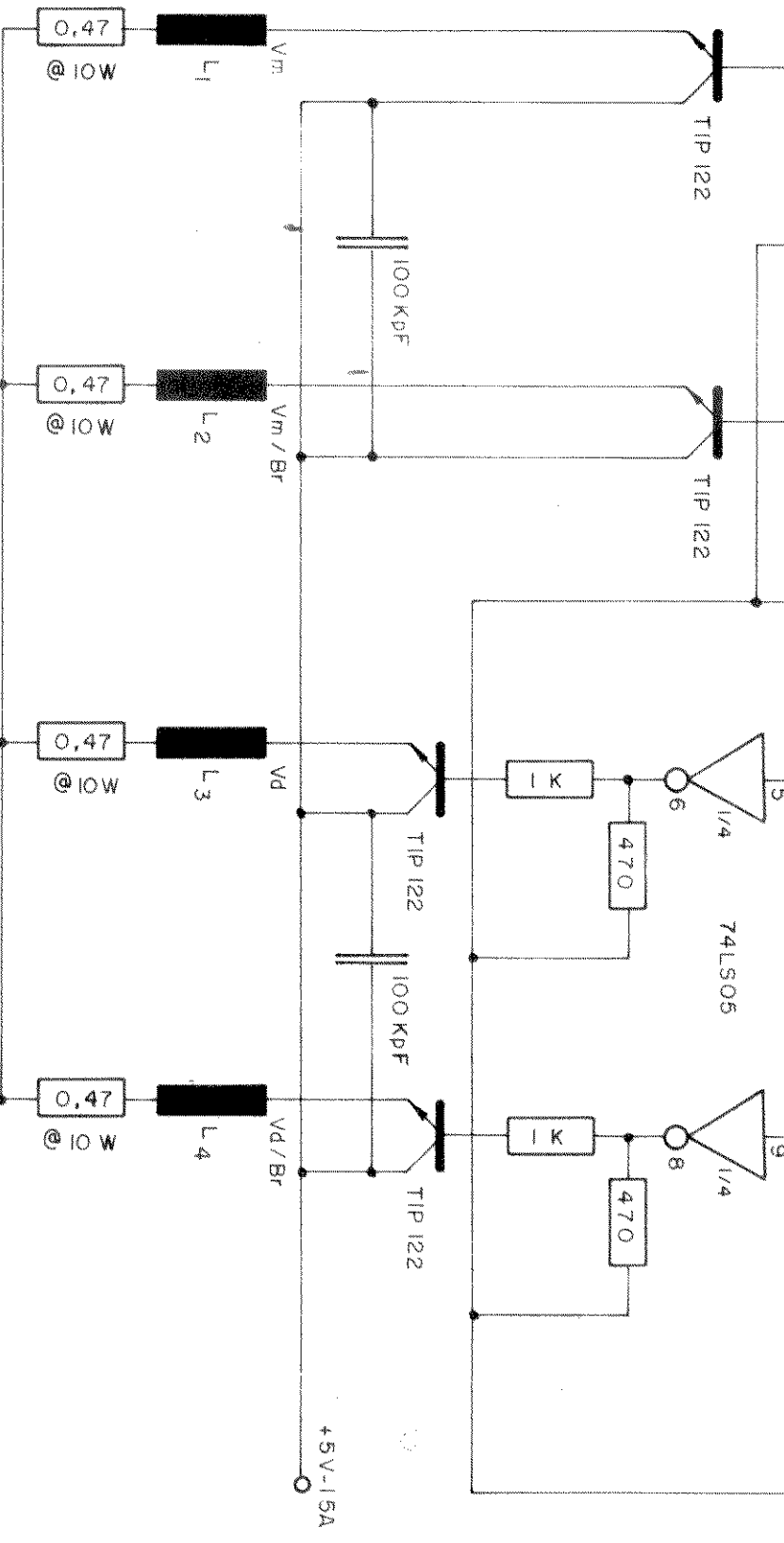
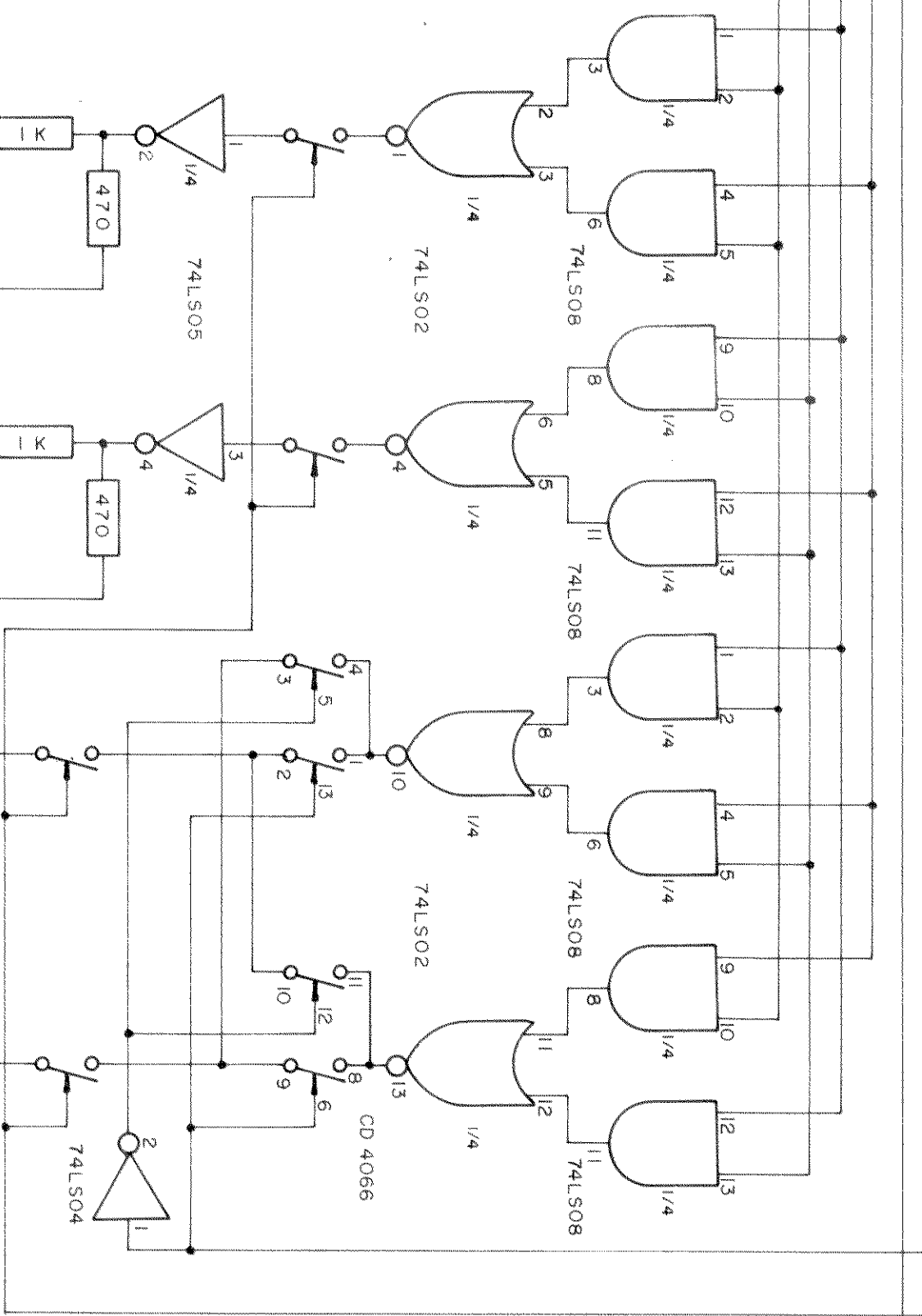
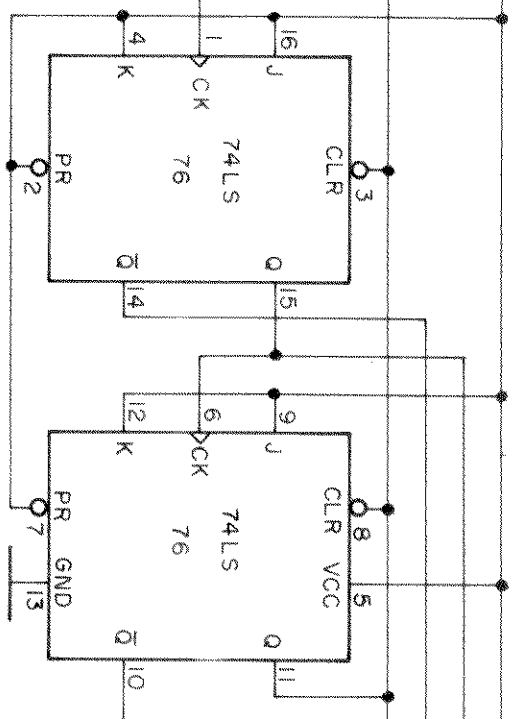
Cont 2

Cont 1

+5V-2A

Clear

CK



Com relação aos sinais gerados para os motores de passo, estes podem ser visualizados na Figura (3.15) a qual ilustra também o sinal de clock gerado pelo software de controle pelo microcomputador via interface.

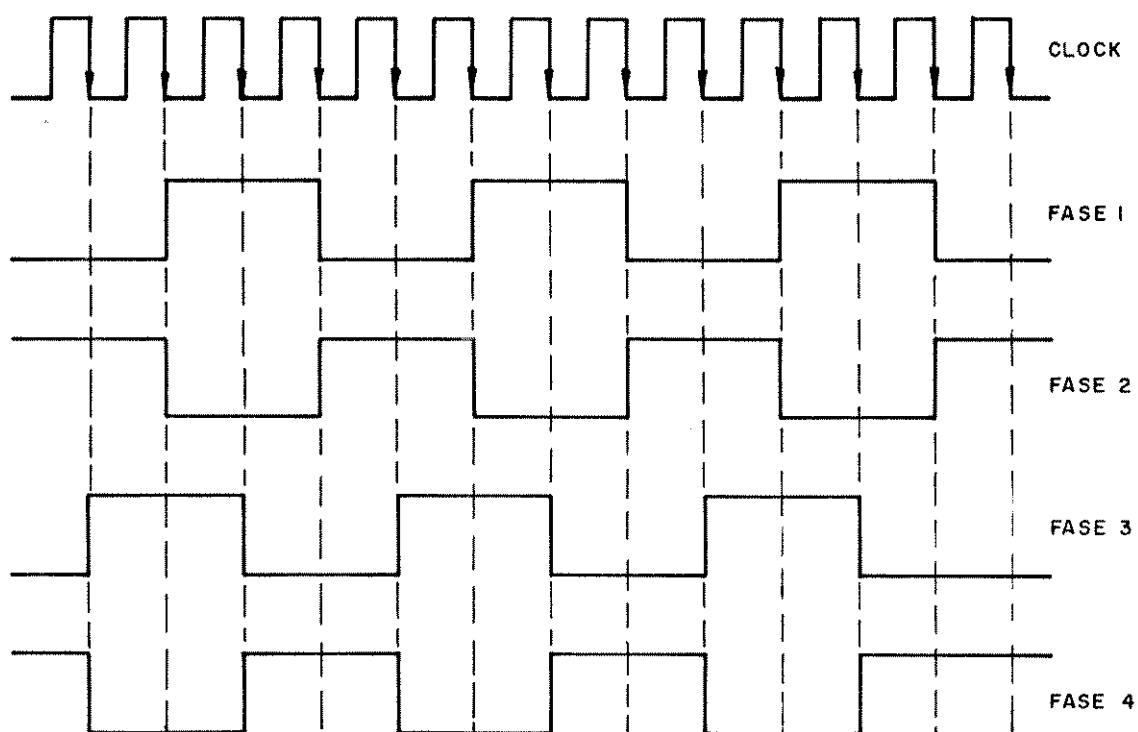
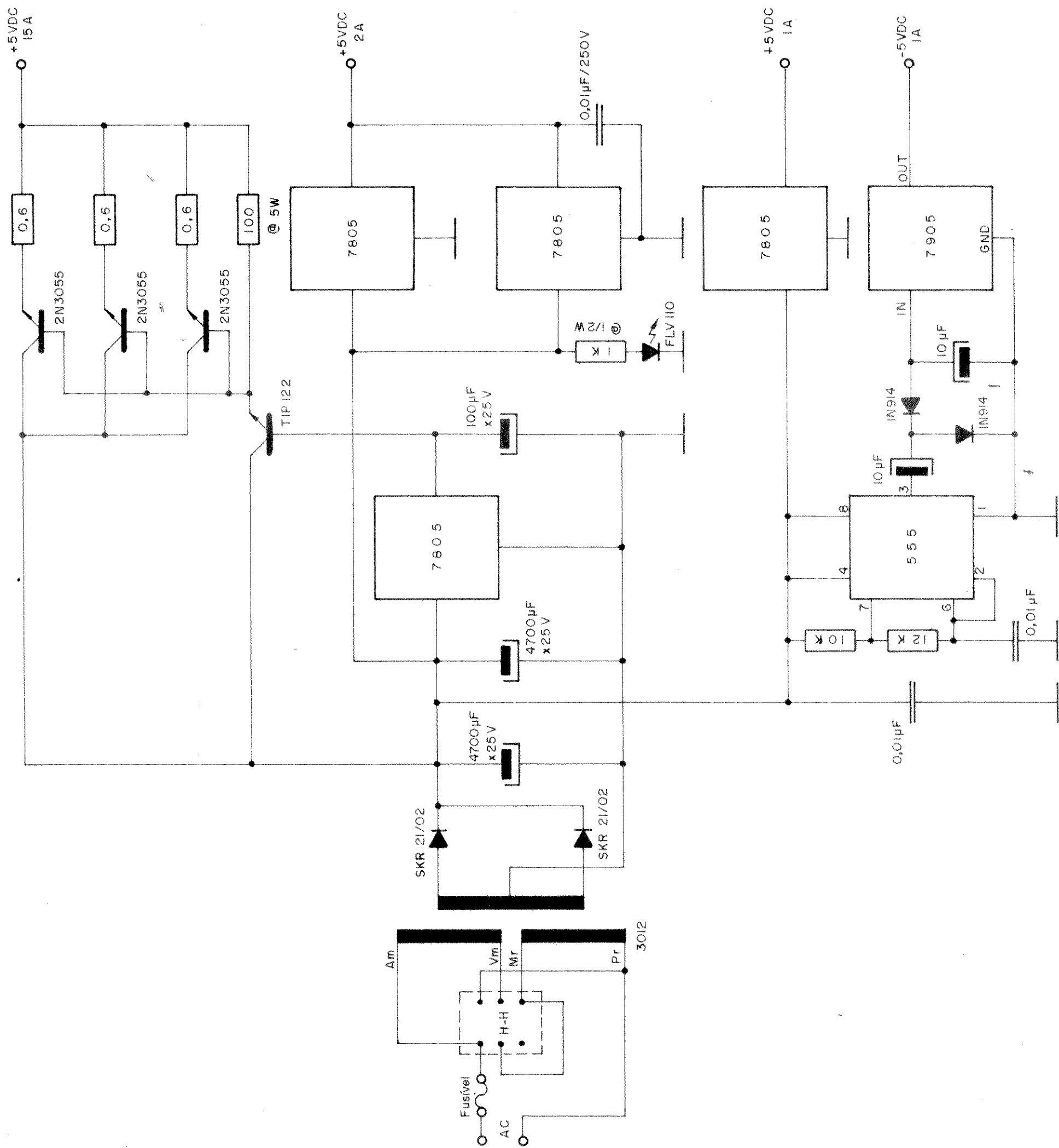


Figura (3.15) - Sinais gerados pela placa de controle dos motores e sinal de clock gerado por software

A Figura (3.16) ilustra o diagrama esquemático de um dos subsistemas de controle dos motores da mesa tomográfica.

Figura (3.16) - Diagrama Esquemático de um dos Subsistemas
de Controle dos Motores de Passo



3.2.8 - SUBSISTEMA FONTE DE ALIMENTAÇÃO PARA OS MOTORES DE PASSO E CIRCUITOS AUXILIARES

Este subsistema foi projetado visando atender às necessidades de alimentação dos motores de passo, circuitos da interface, placas dos controladores e as placas de controle de posição da mesa tomográfica.

A tensão de entrada pode ser selecionada, isto é, 110 VAC ou 220 VAC, com frequência entre 50 e 60Hz, possui fusível no primário do transformador 3012 e fornece quatro saídas diferentes, isto é:

+5VDC, 15 Amperes

+5VDC, 2 Amperes

+5VDC, 1 Ampere

-5VDC, 1 Ampere

Por outro lado, apresenta alta eficiência térmica uma vez que os transistores 2N3055 foram montados em dissipadores e permitem uma boa dissipação de potência.

A Figura (3.17) ilustra o diagrama esquemático da fonte de alimentação para os motores de passo e circuitos auxiliares.

Figura (3.17) - Fonte de Alimentação para os Motores
de Passo e Circuitos Auxiliares

3.2.9 - SUBSISTEMAS MOTORES DE PASSO M_T E M_R

O motor de passo é um dispositivo eletro-mecânico o qual converte pulsos elétricos digitais em movimento mecânico. O eixo do motor gira de um ângulo determinado chamado PASSO a cada pulso elétrico de excitação e com isto, temos como resultado, o uso de motores de passo utilizados em sistemas de posicionamento que requerem precisão e repetibilidade, além do que podem ser atuados diretamente por sistemas digitais.

Outra característica importante é que o controle de tais sistemas podem ser feitos sem necessidade de realimentações.

Há basicamente cinco tipos de motores de passo, os quais são classificados de acordo com o princípio de operação e construção. São por outro lado, tipicamente disponíveis com 200, 180, 144, 72, 24 e 12 passos por revolução e, conseqüentemente dão um incremento angular por passo de respetivamente 1,8°; 2,0°; 2,5°; 5,0°; 15° e 30°.

Os cinco principais tipos disponíveis são⁽³³⁾ :

- 1 - Motor de passo tipo solenoide
- 2 - motor de passo com atuador harmônico
- 3 - Motor de passo tipo síncrono de fase pulsada
- 4 - Motor de passo de relutância variável
- 5 - Motor de passo de imã-permanente

Os dois motores de passo utilizados no presente desenvolvimento são motores de passo de imã-permanente. Este tipo de motor de passo tem operação semelhante a de um motor síncrono. Sua construção física é constituída por um conjunto de enrolamentos (estator) circundando de maneira conveniente um ro

tor de imã-permanente com polos fixos. Os enrolamentos recebem o nome de fase.

Assim, a excitação das fases com tensão de maneira correta, gera um campo magnético rotativo que o rotor pode seguir.

A velocidade de rotação do rotor é função da taxa de chaveamento de tensão nas fases.

Os motores de passo de imã-permanente podem ainda ser divididos em duas classes, isto é, unipolares e bipolares. Enquanto nos motores bipolares a reversão de campo magnético no estator é feita com a mudança no sentido da corrente pelo enrolamento, nos unipolares, cada enrolamento tem uma derivação central que é conectada a um dos polos da fonte de alimentação e, a reversão do campo magnético neste caso, é conseguida pela comutação sincronizada das chaves A e B, conforme ilustra a Figura (3.18).

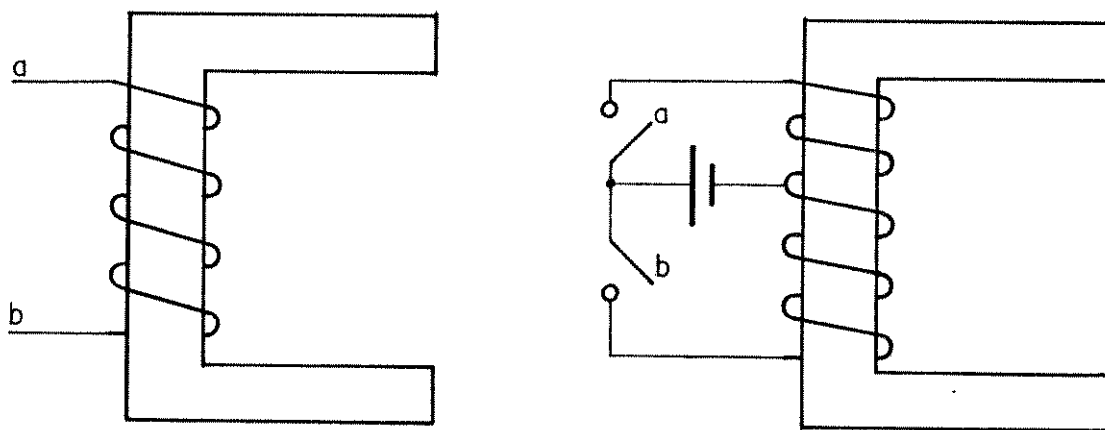


Figura (3.18) - Tipos de Enrolamentos em Motores de Passo Imã-Permanente

A Figura (3.19) ilustra uma típica operação de um motor unipolar.

A Figura (3.19-a), mostra os enrolamentos P, R, T, V energizados e a conseqüente posição de equilíbrio do rotor. Se a chave S_1 é comutada, o enrolamento Q é energizado, substituindo o enrolamento P e, o rotor é deslocado para uma nova posição de equilíbrio correspondendo a um passo de 45° no sentido anti-horário, conforme ilustra a Figura (3.19-b).

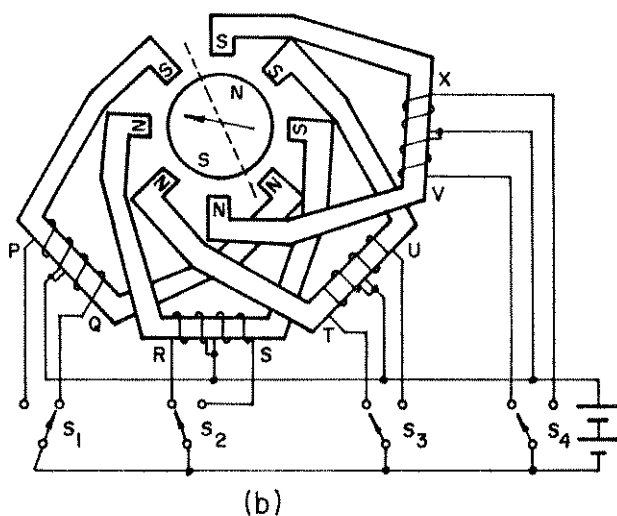
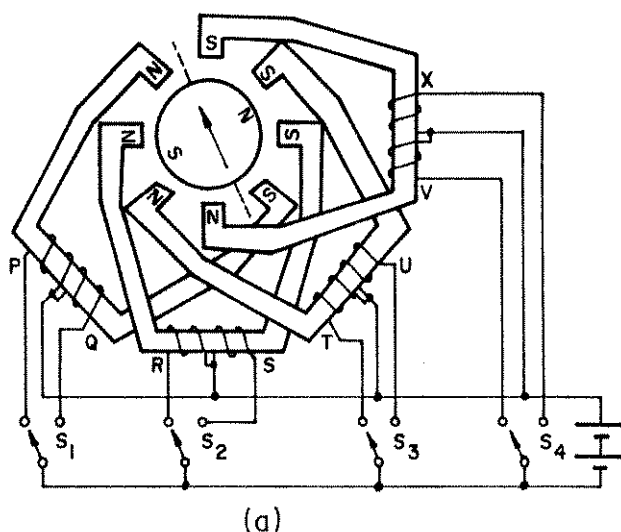


Figura (3.19) - Operação de um Motor de Passo de Ímã-Permanente de Oito Fases

Uma seqüência de chaveamentos $S_1, S_2, S_3 \dots$ faz o motor girar no sentido anti-horário e uma seqüência de chaveamento $S_4, S_3, S_2 \dots$ o faz girar em sentido horário.

A curva típica de um motor de passo, é dada pela Figura (3.20) onde aparece a terminologia normalmente utilizada.

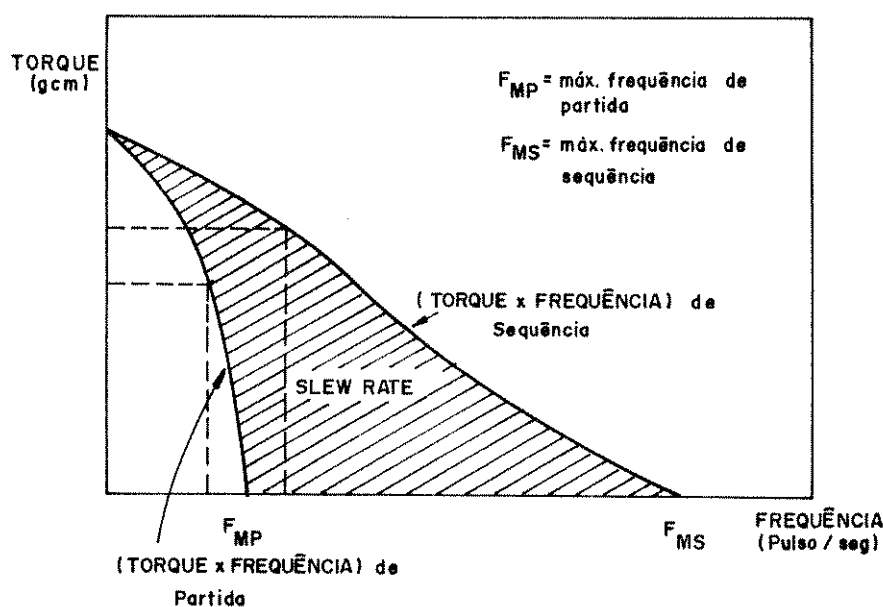


Figura (3.20) - Curva típica de um motor de passo

Existem algumas possibilidades de hardware para lógica de excitação de motores de passo entre as quais as mais usuais são⁽³⁴⁾:

- Wave-Drive
- Two-Phase Drive
- Half-Step Drive

Foi utilizada a lógica de excitação "Two-Phase Drive" e neste caso, as fases P, R, S e T são energizadas simultaneamente por I_1 , I_2 , I_3 , I_4 conforme ilustra a Figura (3.21). Após cada pulso da sequência, uma fase é comutada para inverter o campo no respectivo estator de acordo com as correntes I_5 , I_6 , I_7 e I_8 .

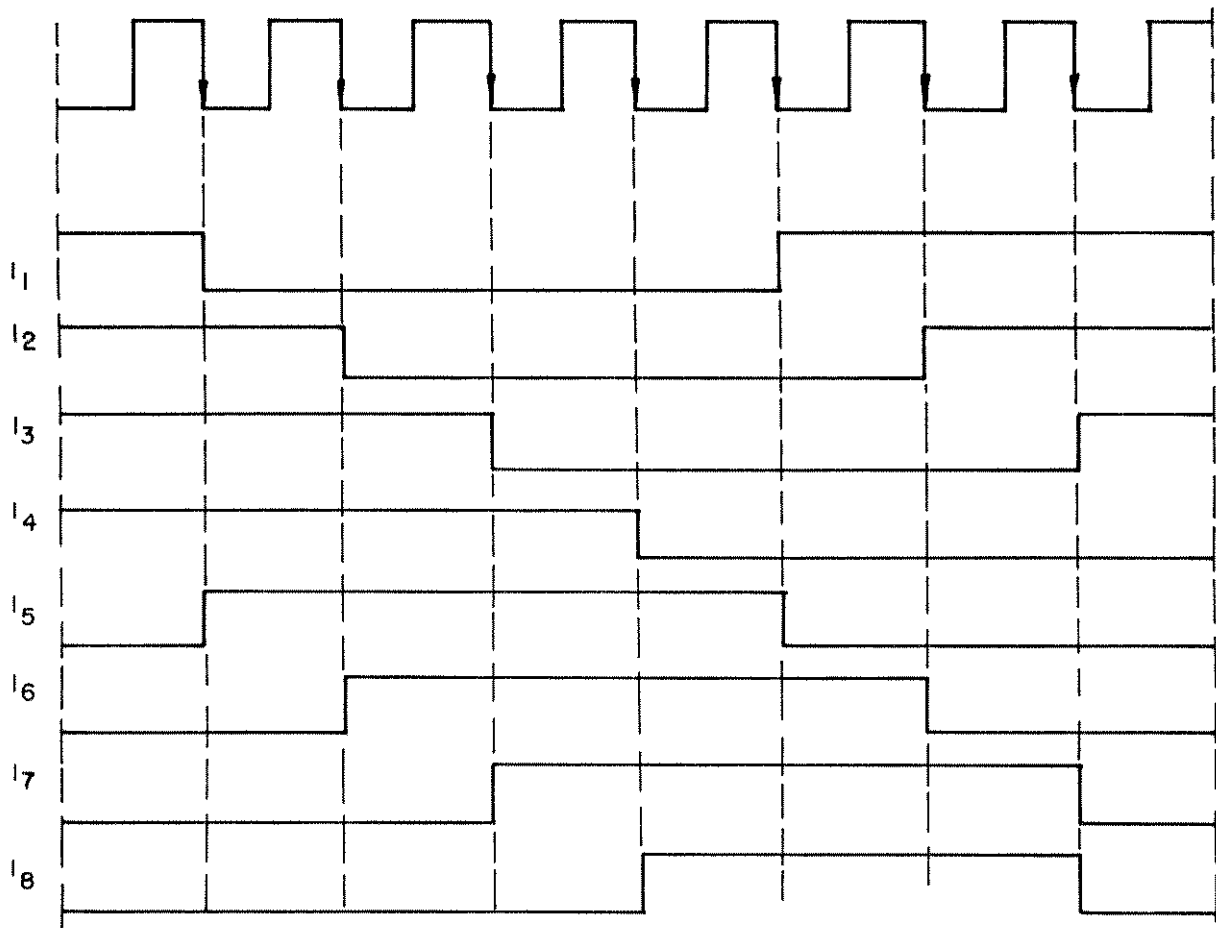


Figura (3.21) - Formas de onda para a lógica de excitação "Two-Phase Drive"

Por outro lado, a seqüência de chaveamentos para resolução de $1,8^\circ$ por passo isto é, 200 passos por revolução e, a seqüência de chaveamentos para resolução de $0,9^\circ$ por passo, isto é, 400 passos por revolução, são dadas na Figura (3.23).

PASSO	SW 1	SW 2	SW 3	SW 4
1		Ø		Ø
2		Ø	Ø	
3	Ø		Ø	
4	Ø			Ø
1		Ø		Ø

(a)

PASSO	SW 1	SW 2	SW 3	SW 4
1		Ø		Ø
2		Ø	Ø	Ø
3		Ø	Ø	
4	Ø	Ø	Ø	
5	Ø		Ø	
6	Ø		Ø	Ø
7	Ø			Ø
8	Ø	Ø		Ø
1		Ø		Ø

(b)

Figura (3.23) - em a) seqüência para resolução de $1,8^\circ$
em b) seqüência para resolução de $0,9^\circ$

Foi utilizado no desenvolvimento resolução de $1,8^\circ$ e assim utilizou-se da seqüência de chaveamento apresentada na Figura (3.23-a) e, as formas de onda conseqüentes para tal operação podem ser vistas na Figura (3.15) a qual apresenta os sinais gerados pela placa de controle dos motores e o sinal de clock gerado por software pelo microcomputador.

3.2.10 - SUBSISTEMA MESA TOMOGRÁFICA

Este subsistema é formado por uma mesa mecânica de coordenadas e uma mesa de translação e rotação a qual está acoplada a dois motores de passo, os quais possibilitam os movimentos de deslocamento linear e angular respectivamente.

O fuso que é acoplado à parte de translação foi projetado com passo de 2mm e, uma vez que a cada passo do motor temos $1,8^\circ$, tem-se como resultado uma resolução mecânica para a mesa de translação de $0,01\text{mm}$ por passo do motor.

Quanto à mesa de rotação, foi acoplado no eixo rotativo um conjunto de coroa e pinhão o qual proporciona uma redução de $1/42$ e dessa forma, tem-se uma resolução mecânica angular de $0,0452^\circ$ por passo do motor.

A Figura (3.24) ilustra a mesa tomográfica na qual estão acoplados os dois motores de passo e as placas de controle de posição da mesa de rotação e da mesa de translação.

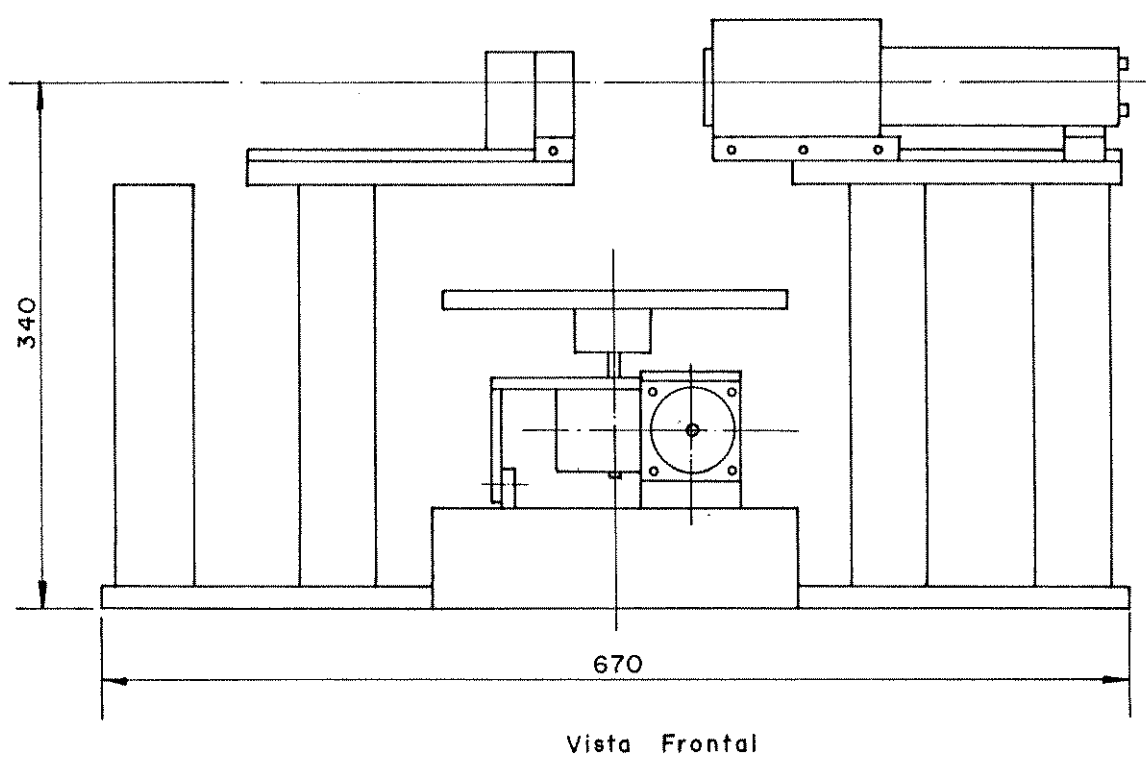
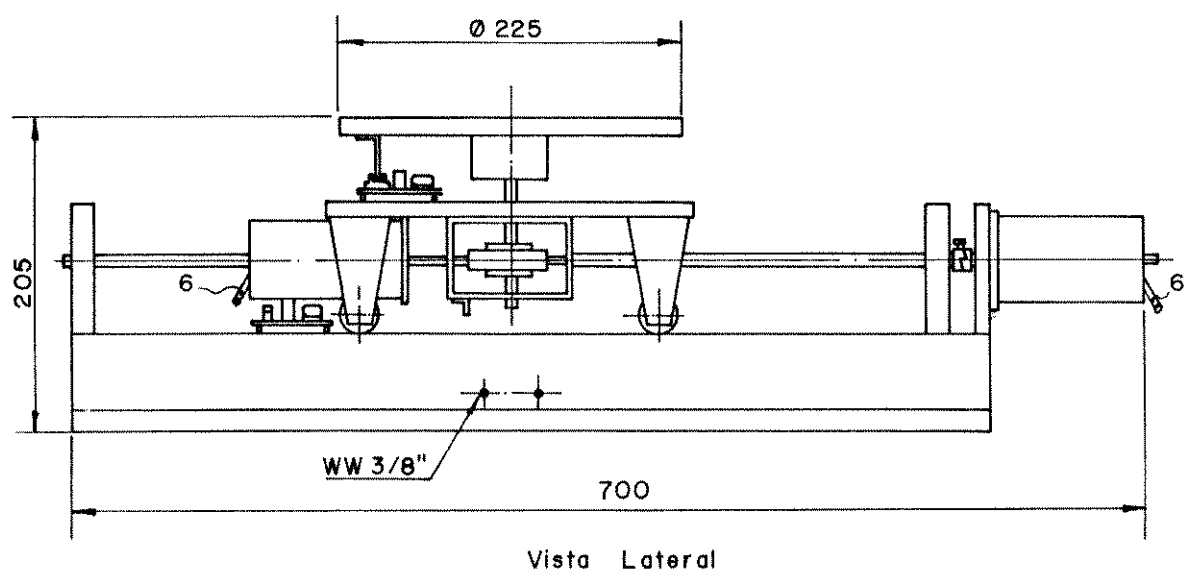


Figura (3.24) - Mesa Tomográfica

3.2.11 - SUBSISTEMAS PLACAS DE CONTROLES DAS POSIÇÕES DA MESA DE ROTAÇÃO E DA MESA DE TRANSLAÇÃO

Estes subsistemas são compostos por chaves opto-eletrônicas CNY37, circuitos comparadores com amplificador operacional e circuitos monoestáveis.

A finalidade básica deste subsistema é definir posições específicas de interesse das mesas de rotação e translação, definindo assim o estado lógico das portas PB_3 e PB_4 do Adaptador de Interface de Periférico A (PIAA), possibilitando assim o controle do início do processo.

A Figura (3.25) ilustra o diagrama esquemático das placas de controle de posição das mesas de rotação e translação.

A Figura (3.26) ilustra o diagrama temporal dos sinais da placa em questão.

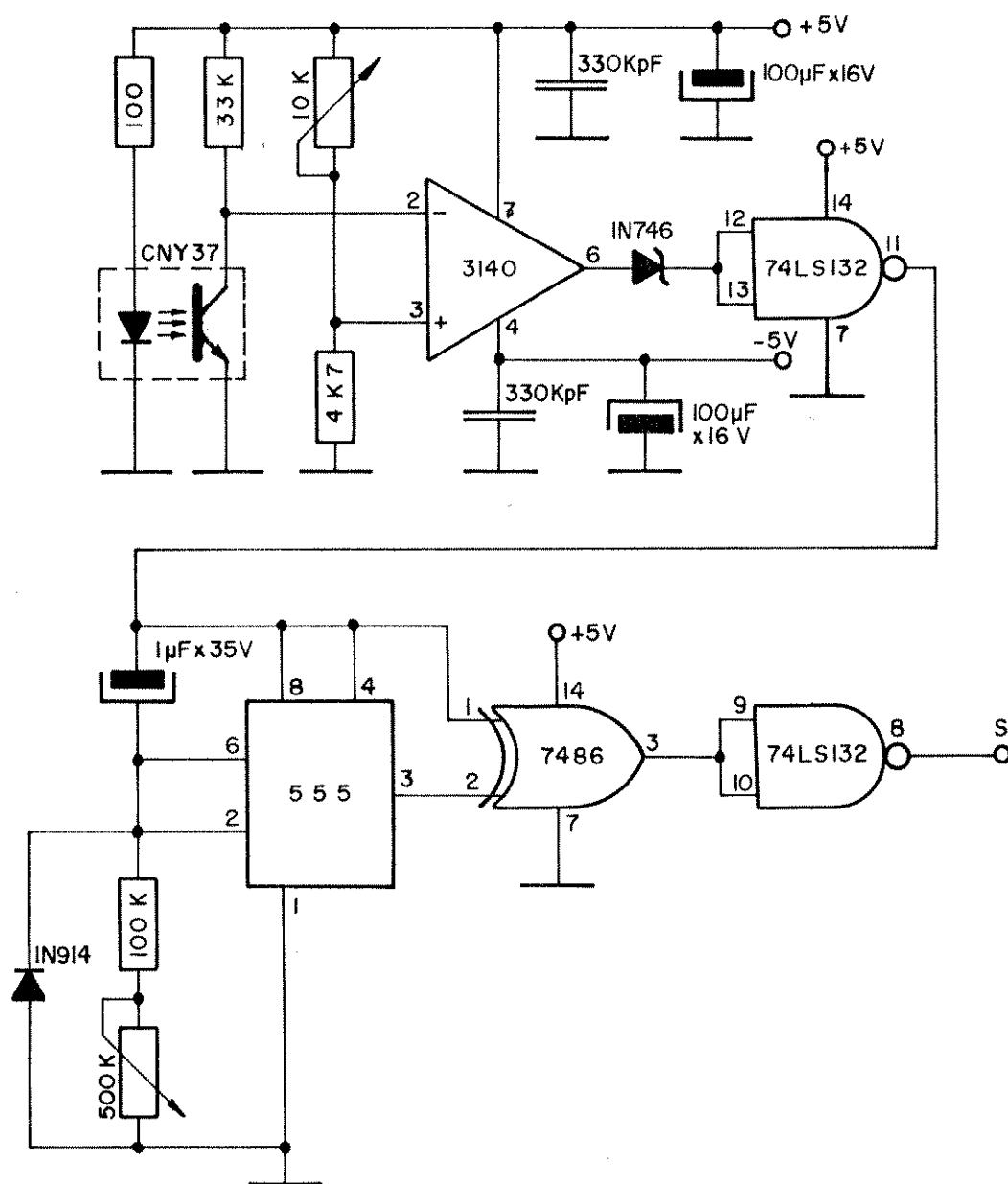


Figura (3.25) - Diagrama Esquemático das Placas de Controle de Posição das Mesas de Rotação e Translação

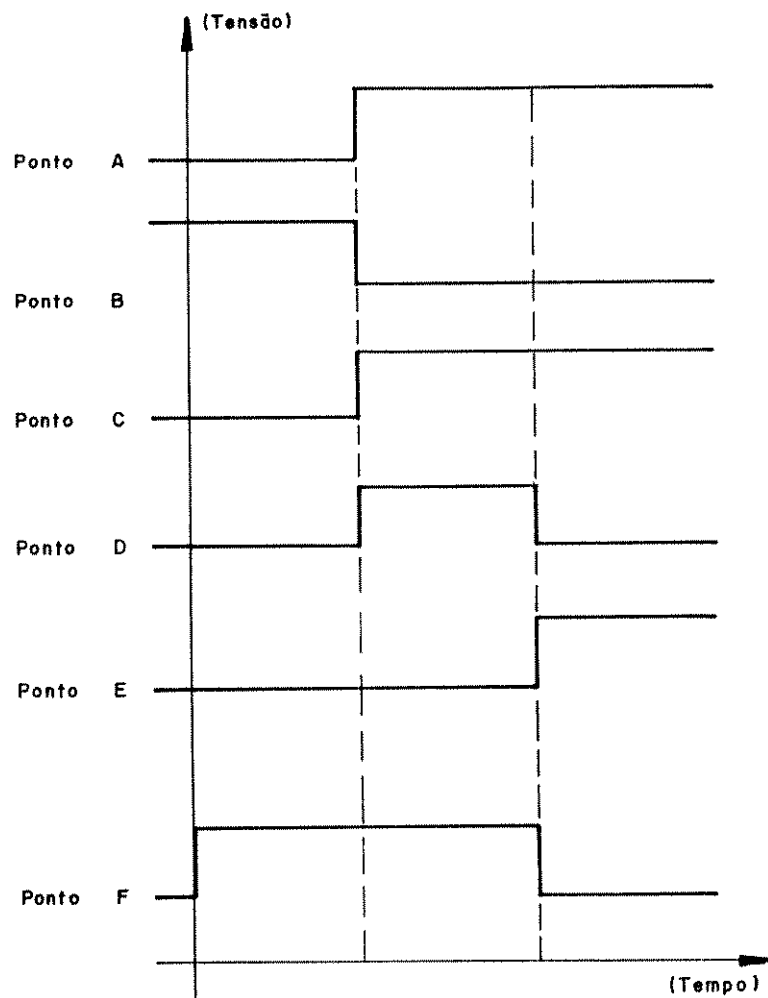


Figura (3.26) - Diagrama Temporal dos Sinais da Placa de Controle (tensão x tempo), das Posições das Mesas de Rotação e Translação

3.2.12 - SUBSISTEMA FONTE DE RAIOS-X E FONTE DE RAIOS-GAMA

Um dos principais requisitos do método de atenuação, é a escolha de uma fonte de intensidade e energia apropriada. Assim, as características abaixo devem ser consideradas:

- A radiação destas energias deve ser capaz de atravessar vários centímetros de material líquido ou sólido ou ambos, constituintes de uma amostra padrão.
- É aconselhável que se tenha monocromaticidade, de modo a evitar que a radiação espalhada, que pode atingir o detector, possa ser considerada nas contagens coletadas
- A fonte deve possuir uma atividade razoavelmente grande, objetivando otimizar o tempo de contagem.

3.2.12.1 - A FONTE DE RAIOS-X

- Corrente 10 a 20 mAmperes
- Tensão menor ou igual a 120KV
- Ânodo Tungstênio
- Tipo de Operação Contínuo

3.2.12.2 - A FONTE DE RAI0-GAMA

Várias podem ser as fontes de raio- γ utilizadas em função da amostra em estudo, como por exemplo ^{241}Am (60KeV), ^{137}Cs (662KeV), ^{60}Co (1170 a 1310KeV), ^{22}Na (1250KeV) entre outras.

A escolha da fonte adequada é função da espessura da amostra, bem como de sua densidade. Um outro fator importante na escolha do radioisótopo é a meia-vida a qual deve eliminar a necessidade de correções na taxa de contagem devido ao decaimento.

Para os experimentos foi utilizada uma fonte de ^{241}Am , a qual possui energias principais de 26KeV e 59.9KeV, levando em consideração a disponibilidade de tal fonte, e suas características abaixo consideradas:

- Atividade 300mCi
- Cápsula tipo Disco (pontual)
- Código X92/0
- Fabricante Amersham
- Meia-Vida 458 anos
- Principais radiações γ :

Energia (MeV)	Abundância (%)
(0,026)	2,5
(0,059)	36,0

A Figura (3.27) ilustra a fonte de raio- γ :

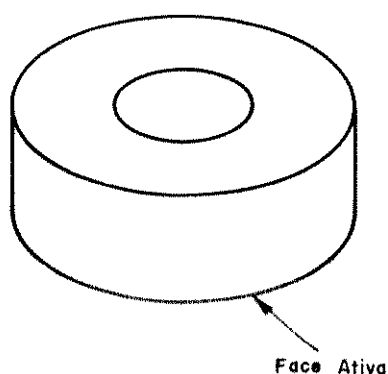


Figura (3.27) - Fonte de Raio-Gama ^{241}Am

3.2.13 - SUBSISTEMA ELEMENTO FLUORESCENTE

Este subsistema foi desenhado para ser usado quando a fonte em uso for de raio-X, e com isto pode-se definir um "target" secundário, o qual possibilita fluorescência em energias de interesse como por exemplo a do Molibdênio (17,4KeV).

A Figura (3.28) ilustra este subsistema e suas dimensões:

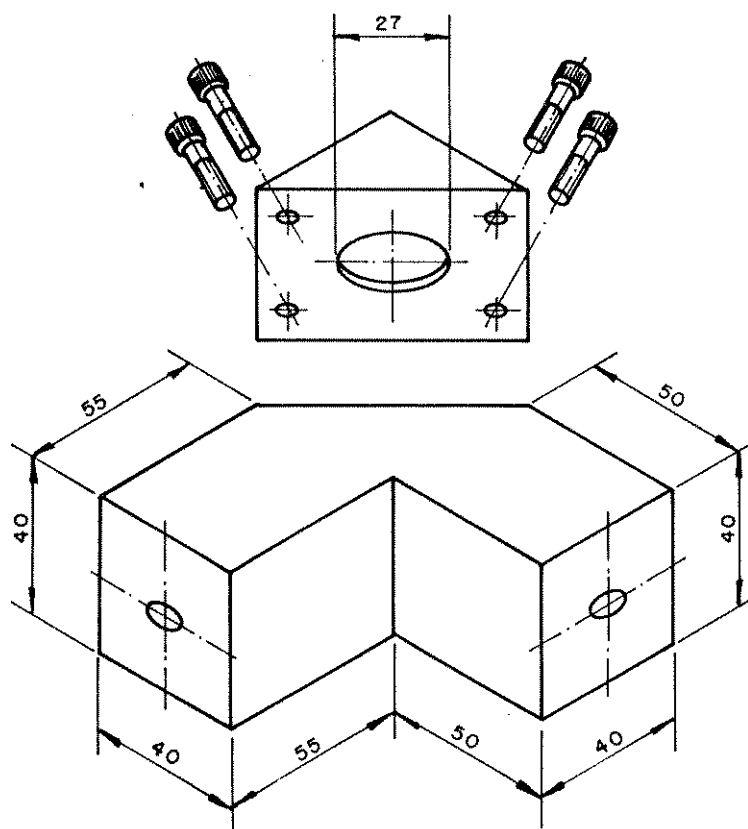


Figura (3.28) - Suporte para Elemento Fluorescente

3.2.14 - SUBSISTEMA COLIMADORES E TRILHO ÓPTICO

O uso de colimadores apresenta como finalidade orientar o feixe de radiação numa determinada direção e, ao mesmo tempo, diminuir a divergência do feixe, evitando que a radiação espalhada pelo objeto atenuador alcance o detector, gerando informações erradas.

Os colimadores utilizados neste trabalho, foram feitos com blocos de chumbo e outros com alumínio e são utilizados em frente à fonte e em frente ao detector.

A Figura (3.29) ilustra os colimadores e os respectivos suportes e trilho óptico utilizado, e suas dimensões.

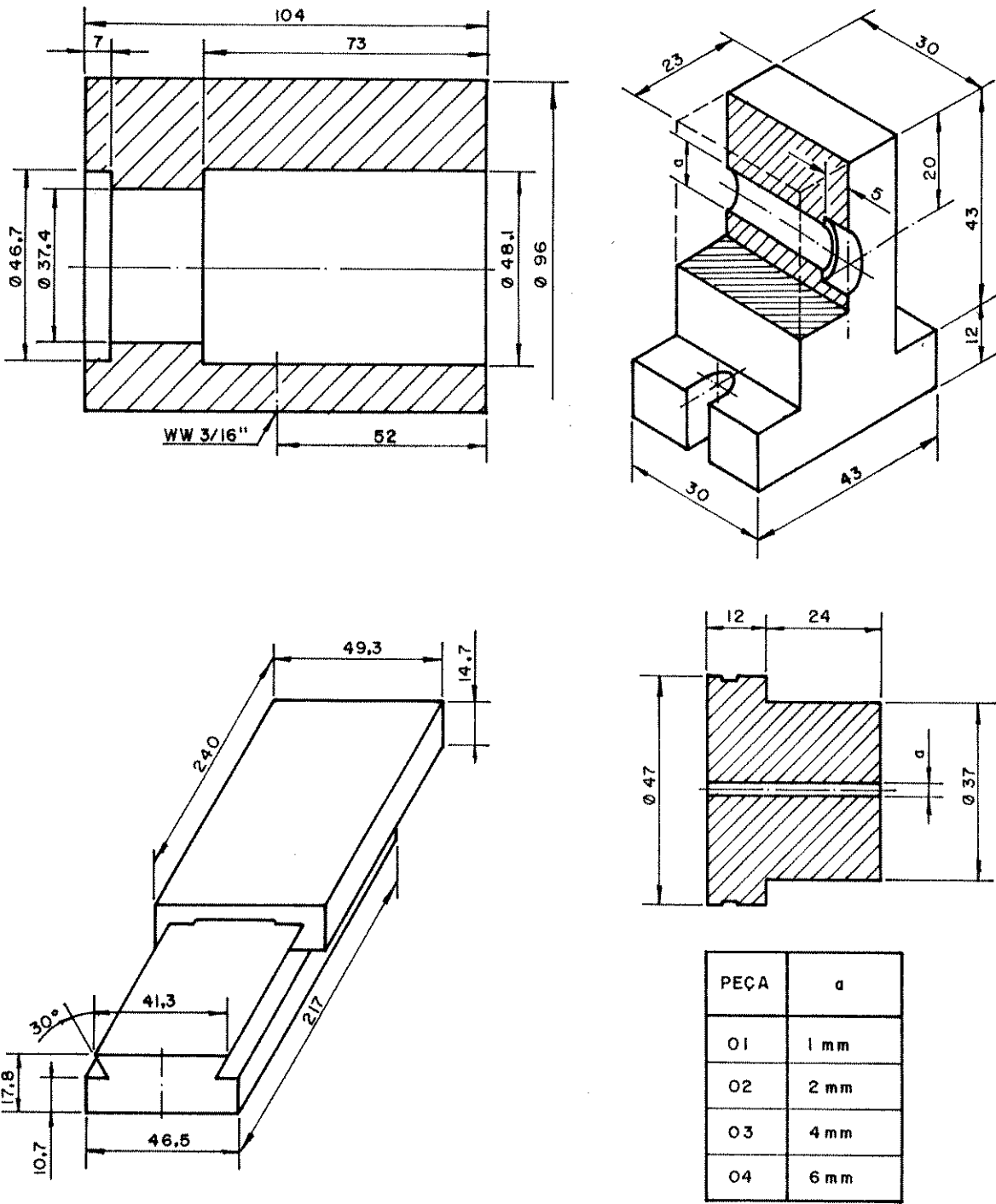


Figura (3.29) - Colimadores, suportes e trilho óptico

3.2.15 - SUBSISTEMA FONTE DE ALTA TENSÃO

A fonte de alta tensão tem como objetivo fornecer tensão de polarização para o detector.

Foi utilizada a fonte de alta tensão PM 113A fornecida pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Esta fonte possui alta estabilidade e baixo ruído proporcionando assim, os principais requisitos para polarização de fotomultiplicadoras e detectores proporcionais.

As principais características fornecidas pelo fabricante⁽³⁵⁾ são:

- Alimentação Rede 110 ou 220 Vac
- Tensão de saída 0 a 3000 Volts, 30mAmpères
- Polaridade Positiva/Negativa
- Ripple de saída < 8mVRMS, 0 a 10MHz
- Precisão de indicação no
seletor de tensão $\pm 1,5\%$ da tensão de saída

A fonte quando em uso, não deve ser ligada sem que um dos conectores de saída não esteja conectado com o plug de polarização no painel traseiro. Para tensão positiva, o plug deve ser conectado no conector negativo e para tensão negativa, o plug deve ser conectado no conector positivo.

3.2.16 - SUBSISTEMA DETECTOR DE RADIAÇÃO

Este subsistema é formado por um cristal cintilador de NaI(Tl) associado a uma fotomultiplicadora.

Foi utilizado um detector fornecido pela SCINTIFLEX, onde suas principais características são:

- ótimo acoplamento óptico
- monocristal e fotomultiplicadora selecionados
- blindagem
- janela de Beryllium de $\varnothing, 2\text{mm}$

A relação pico/vale pode ser vista na Figura (3.30) e a sua respectiva curva de transmissão na Figura (3.31)

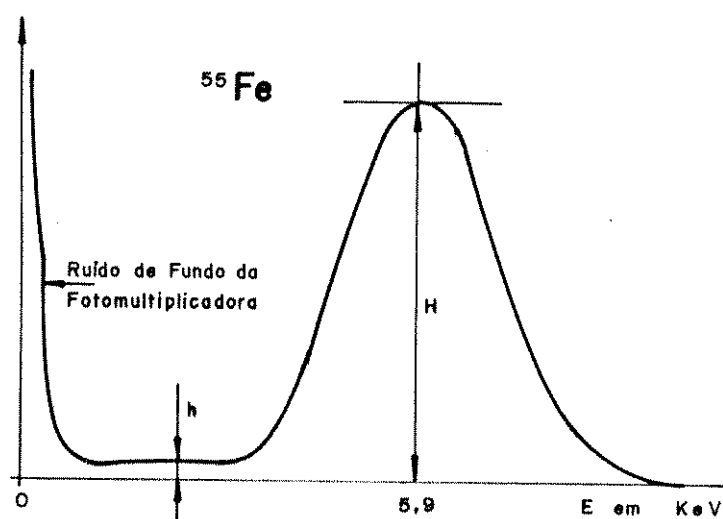


Figura (3.30) - Relação Pico/Vale

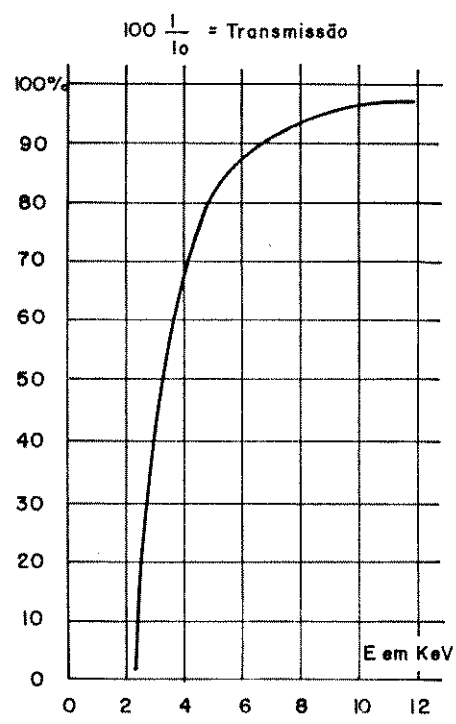


Figura (3.31) - Curva de Transmissão

3.2.17 - SUBSISTEMA AMPLIFICADOR

Este subsistema é composto por um amplificador para espectroscopia fornecido pelo Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares, modelo PM-321. Possui controles de ganho e constantes de tempo, e a entrada é selecionável para pulsos positivos e negativos, provenientes de detectores.

Os estágios amplificadores do instrumento são feitos com circuitos integrados que possuem baixo ruído e alto slew-rate^(*). No primeiro estágio, utiliza um circuito integrado AD507⁽³⁶⁾, o qual apresenta baixíssimo ruído e, os outros estágios têm o circuito integrado analógico LM318⁽³⁷⁾, os quais possuem alto slew-rate e baixa impedância de saída.

As principais características fornecidas pelo fabricante⁽³⁸⁾ são:

- Ajuste de ganho:

Ajuste grosso - chave de 8 posições, x5 - x 1000

Ajuste fino - potenciômetro de 10 voltas, x5 - x1,5

- Rede formatadora RC:

Constante de tempo - chave de 3 posições, 0,5; 1,0;
2,0 μsegundos

- Cancelamento de Polos e Zeros:

Ajustável - 35 μsegundos → ∞

- Ruído:

Unipolar - 6 μVolts referido a entrada ($\tau = 2$ segundos)

Bipolar - 10 μVolts referido a entrada ($\tau = 2$ segundos)

(*) Slew-Rate - Parâmetro dinâmico que quantifica a razão de troca da tensão de saída com o amplificador operacional sob condições de ganho unitário. É expresso em unidades de tensão/tempo.

- Não linearidade:

Menor que 0,05%

- Entrada:

Impedância 1000Ω acoplamento DC

Valor máximo ± 5 Volts

Restaurador ativo de

linha de base 2 posições

- Saídas:

Unipolar: ± 10 Volts ou -10 Volts (máximo ± 14 Volts)

Nível DC ajustável ± 1 Volt

Impedância 1Ω (painel frontal)

..... 93Ω (painel traseiro)

Bipolar: máxima 14 Volts

Impedância 1Ω (painel frontal)

..... 93Ω (painel traseiro)

- Característica Mecânica:

Módulo Duplo Norma NIM

3.2.18 - SUBSISTEMA MONOCANAL

Este subsistema é formado por um analisador monocanal, fornecido pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, modelo PM 431, e pode operar tanto como discriminador de amplitudes como analisador monocanal, dependendo da posição da chave no painel frontal, INT/DIF.

Operando no modo integral, o discriminador ΔE é inibido tendo função somente o discriminador E. Nesta forma são selecionados todos os pulsos que apresentarem alturas superiores ao nível E.

Se por outro lado, for operado no modo diferencial, tanto o discriminador E como também o discriminador ΔE são utilizados. Nesta forma, o instrumento atua como analisador monocanal, o qual gera um pulso de saída apenas quando o pulso de entrada cair entre os níveis E e ΔE . Desta forma, quando houver pulso de saída, ele estará presente tanto na saída positiva, como na negativa, apresentando atraso fixo e ajustável em relação à referência de tempo e, quando a operação for bipolar, tem-se uma informação de tempo bem definida.

As principais características desse instrumento fornecidas pelo fabricante⁽³⁹⁾, são:

- Discriminador E (nível inferior):
100 mVolts a 10 Volts, ajustável através de potenciômetro de 10 voltas.
- Discriminador ΔE (largura da janela):
0 a 10 Volts, ajustável através de potenciômetro de 10 voltas.

- INT/DIF (Integral/Diferencial):

Determina o modo de operação do instrumento.

- BIP/UNIP (Bipolar/Unipolar):

Seleciona o tipo de gatilhamento aplicado ao circuito lógico do instrumento. Esta chave deve ser posicionada de acordo com a forma do pulso presente na entrada.

- ATRASO (permite balancear no tempo, circuitos de coincidência):

Variável através de potenciômetro de 10 voltas-0,5 μ segundos a 1,5 μ segundos. Quando em operação com pulso bipolar, o atraso é dado em relação ao instante que a entrada cruza a linha base. Se a chave estiver em UNIP, o atraso será dado em relação ao instante em que a borda de descida do sinal de entrada cruzar o nível de discriminação inferior.

- Entrada de Sinal:

Faixa de amplitude 0 a 12 Volts (máximo)

Polaridade pulso unipolar positivo ou pulso bipolar com borda ascendente

Impedância 2K5 Ω , acoplamento DC

Conector BNC no painel frontal.

- Sinal de Saída:

No painel frontal: pulso disponível positivo com amplitude de 4,2 Volts e largura de 300 nsegundos à média altura, com tempo de descida e subida total, de aproximadamente 70 nsegundos.

No painel traseiro: o pulso de saída é negativo com tempo de descida em torno de 10 nsegundos e tempo de subida da ordem de 30 nsegundos, com amplitude de 1,3 Volts.

3.2.19 - SUBSISTEMA CONTADOR TEMPORIZADOR

Este subsistema é formado por um duplo contador de 6 dígitos fornecido pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, modelo PM 512. Aceita pulsos positivos de 0,25 Volts a 8,0 Volts, ajustados por um discriminador interno. Podem além disso serem reiniciados por tempo ou por contagem, podendo operar também independentemente ou um dependente do outro isto é, na forma mestre-escravo.

Este instrumento é compatível a níveis lógicos determinados pelos padrões NIM.

No painel frontal há dois leds para cada contador, sendo chamados de "CONTA" e "OVER FLOW" e indicam respectivamente a condição de porta de cada contador e a condição de vai um, na década mais significativa.

As especificações técnicas do duplo contador, fornecidas pelo fabricante⁽⁴⁰⁾, são:

- Capacidade de contagem por contador:

de 000.000 a 999.999

- Resposta em frequência:

2MHz

- Indicadores:

Display de 6 dígitos por contador

- Controles do painel frontal:

a) CHAVE MESTRE/ESCRAVO/NORMAL:

Na posição MESTRE, o contador A sempre será mestre em relação ao contador B, caso não haja um outro contador ligado à linha de comandos e dados.

Caso haja um ou mais contadores ligados à linha de dados, o contador A sempre será MESTRE em relação a outro contador na mesma linha comum de dados.

Na posição ESCRAVO, tanto o contador A como o contador B, estarão aptos a receber comandos de zero e porta através da linha comum.

Na posição NORMAL, os contadores operam independentemente na linha de reset, caso não haja um contador mestre na linha comum.

b) PRESET A:

O instante de preset é dado pela contagem

$$N = Y \cdot 10^X \quad (\text{III-1})$$

podendo-se variar a chave Y de 0 a 9 e a chave X, de 0 a 5, ou ainda deixá-lo desligado. No instante do preset, há a perda de porta A (caso esteja com a chave MESTRE/ESCRAVO/NORMAL, na posição MESTRE, todos os outros contadores serão afetados, e se a chave estiver na posição NORMAL, será afetado o contador A e o contador B do módulo).

c) CONTA/MIN/0,1MIN/SEG (A e B):

Na posição CONTA, os pulsos que passam pelo discriminador interno, são contados.

Nas posições MIN/0,1MIN/SEG, um gerador interno fornece pulsos de minuto em minuto; 0,1 minuto em 0,1 minuto e de segundo em segundo respectivamente, fornecendo assim uma base de tempo.

d) A/A+B/B:

Determina qual dos contadores ou se ambos serão zerados.

e) CONTA/PARA:

Se na posição CONTA, possibilita contagem e, se na posição PARA, determina condição de desabilitação de porta.

f) ZERA:

Reset geral, colocando as décadas contadoras em zero.

Por outro lado, este instrumento possibilita por intermédio dos conectores disponíveis, seu uso em controle de processo.

Os principais conectores de entrada e saída disponíveis são:

a) Entrada de sinal A e B:

Conectores BNC, amplitude variável de 0,25 Volts a 8,0 Volts discrimináveis .

b) Porta A e B:

Conectores BNC. Em nível lógico alto ou em aberto, libera a contagem e, em nível lógico baixo, inibe a contagem. É compatível a níveis TTL.

c) Zera:

Conector BNC. Em nível lógico alto, é ativo. Não atua em nível lógico baixo ou com o conector em aberto.

d) Intervalo:

Conector BNC. Normalmente está em nível lógico baixo. Quando os contadores estão contando, fica em nível lógico alto.

e) Comando de impressão ou transferência:

Conector AMP. Desativo, em nível lógico alto e ativo, em nível lógico baixo.

f) Sinal PMF:

Conector AMP. Este sinal define e avisa que o módulo vai promover a impressão ou a transferência de dados para a linha comum. É ativo com borda de subida (pino 7 no conector de entrada).

g) Saída de dados:

Conector AMP. Os dados são disponíveis em código BCD e transferidos um dígito por vez (pinos 1, 2, 3 e 4 no conector de saída).

h) Sinal TMF:

Conector AMP. Este sinal define e avisa que o módulo anterior terminou de imprimir ou transferir dados, e é ativo com borda de subida (pino 7 no conector de saída).

i) Sistema Porta:

Conector AMP. Em nível lógico alto, permite a contagem e em nível lógico baixo, inibe os contadores (pino 8 nos conectores de entrada e saída).

j) Sistema Preset:

Conector AMP. Em nível lógico alto permite a contagem e em nível lógico baixo, inibe os contadores (pino 9 nos conectores de entrada e saída).

k) Sistema zero:

Conector AMP. Em nível lógico baixo, zera os contadores (pino 10 nos conectores de entrada e saída).

l) Avanço de dígito ou de impressão:

A transferência de cada dígito ocorre na borda de subida e são necessários seis pulsos para a transferência dos seis dígitos de cada contador.

Desta forma, para o programa de controle e aquisição de dados, temos os seguintes bytes abaixo, que devem ser transferidos entre o microcomputador e a cadeia de medidas nucleares, por intermédio do circuito de interface.

a) zera contadores:

	PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0
(DRB) _{PIA A}	0	0	0	0	0	0	0	0
	PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0
	0	0	0	0	0	0	0	1

b) libera contadores:

	PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0
(DRB) _{PIA A}	0	0	0	0	0	0	0	0
	PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0
	0	0	0	0	0	0	1	0

c) teste de final de contagem:

(DRB) PIA A	PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0	Contando
	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	1	Ø	Ø	
	PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0	Final de Contagem
	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	

d) Comando para transferência de dados ou impressão:

(DRB) PIA B	PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0	Desativo
	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	1	
	PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0	Transferência ou impressão
	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	

e) Comando PMF:

(DRB) PIA B	PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0	borda de subida
	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	
	PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0	
	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	1	Ø	

f) Avanço de dígito de impressão:

(DRB) PIA B

PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0
0	0	0	0	0	0	1	0

PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0
0	0	0	0	1	0	1	0

O sinal PMF deve permanecer em nível lógico alto.

3.2.20 - CHAVES DE CONTROLE DE ENERGIA ELÉTRICA

Este subsistema é formado por um conjunto de chaves, fusível, voltômetro e tomadas, os quais possibilitam transferir aos blocos de subsistemas, energia elétrica AC para alimentação, bem como proporcionar à mesa tomográfica, segurança quanto ao curso linear da mesa de translação.

A Figura (3.32) ilustra este subsistema.

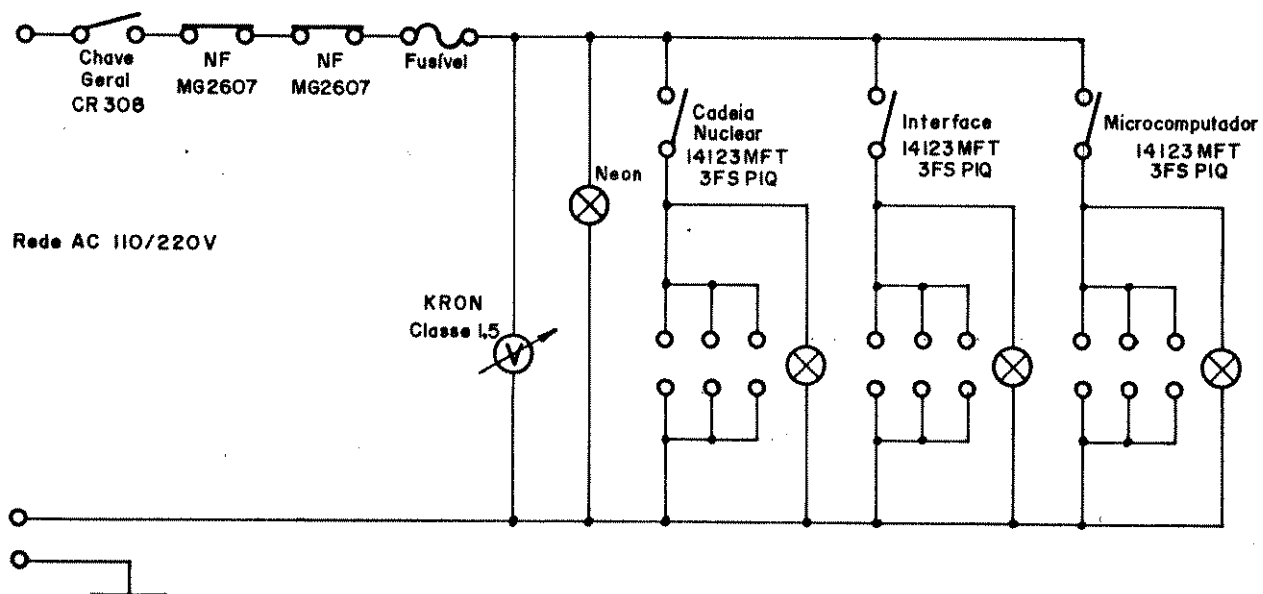


Figura (3.32) - Quadro de alimentação de energia elétrica AC

CAPÍTULO IV

DESENVOLVIMENTO COMPUTACIONAL

4.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo analisaremos o desenvolvimento computacional relativo aos programas desenvolvidos para controle e aquisição de dados, processamento de imagem e software gráfico para visualizar as secções tomográficas decorrentes de dados coletados e processados.

Os programas foram desenvolvidos em linguagem Pascal, utilizando o Sistema U.C.S.D. Pascal. Por esta razão faremos uma breve busca nos principais conceitos que regem a linguagem utilizada, bem como ao sistema U.C.S.D. Pascal, observando principalmente os pontos de relevância que nos levou a utilizar tal linguagem e sistema.

Quanto ao software de controle e aquisição de dados, procuramos analisá-lo sob ponto de vista de sua interação com o hardware.

Quanto ao software de processamento de imagem, utilizou-se o algoritmo do método de retroprojeção filtrada, analisado no Capítulo II do presente trabalho.

Por outro lado, quanto ao software gráfico para visualizar as secções tomográficas, utilizou-se os recursos gráficos disponíveis do microcomputador Micro Engenho².

4.2 - A LINGUAGEM PASCAL

A linguagem de programação Pascal, apresenta-se em posição de destaque entre as linguagens de grande uso pela comunidade de informática, principalmente por aspectos ligados à velocidade de processamento, e por estar a ela associados os conceitos e técnicas de programação estruturada.

Essa linguagem é de desenvolvimento recente, tendo sido apresentada primeiramente em 1968, pelo engenheiro Niklaus Wirth da Universidade de Engenharia de Zurich^(41 e 42), e é orientada para uma aproximação sistemática à resolução de problemas através do computador.

A linguagem Pascal foi inspirada no Algol 60 mantendo assim, os princípios de estruturação, e algumas formas e expressões, sendo porém incompatíveis.

4.2.1 - SUMÁRIO DA LINGUAGEM PASCAL

Um programa computacional é constituído essencialmente por duas principais partes, isto é, a descrição de ações ou comandos que devem ser executados e a descrição dos dados que são manipulados por estas ações.

As ações em linguagem Pascal, são descritas pelos "Statements" e os dados são descritos pelas "Declarations" e "Definitions".

Os comandos são sentenças que acionam procedimentos que se utilizam dos instrumentos descritos nas declarações e assim os comandos são as sentenças que realmente têm

parte ativa na execução dos algoritmos.

Por outro lado, além das partes essenciais dos programas, isto é, as partes que são transformadas em código de máquina pelo compilador, é possível haver textos que entram como comentários.

Quanto aos dados, para declararmos uma variável precisamos especificar o seu tipo, os quais de uma forma geral podem ser subdivididos em duas classes a saber, isto é, tipo escalar e tipo complexo ou estruturado.

Quanto aos do tipo escalar, esses podem ser INTEGER (números inteiros), REAL (números reais), BOOLEAN (valor lógico) e CHAR (carácter).

Quanto aos do tipo estruturado, esses podem ser ARRAY, RECORD, SET e FILE.

Utilizando por outro lado declarações como VAR, TYPES e LABEL, podemos associar respectivamente identificadores e pedaços de memória, a tipo de dados e a lugares dentro de programas.

Podemos ainda, associar identificadores a partes de um programa com objetivos determinados através do uso de "Functions" e "Procedures". As Functions devolvem um só valor para cada conjunto de parâmetros, e as Procedures são subprogramas com finalidades pré-determinadas que lidam com tantas variáveis quantas forem necessárias. Atualmente, as Procedures são vistas muito mais como ferramentas de estruturação de programas.

Assim, quando do projeto de um programa através de refinamentos sucessivos, cada ação de alto nível pode ser traduzida no texto do programa através de uma chamada de uma Procedure.

4.3 - O SISTEMA U.C.S.D. PASCAL

O sistema U.C.S.D. Pascal (University of California, San Diego Pascal Software System) é um software completo para objetivos gerais com uso em minicomputadores e microcomputadores⁽⁴³⁾.

Podemos citar entre suas principais características o fato de que os programas apresentam-se de forma compacta e podem ser operacionais em diferentes mini ou microcomputadores sem serem alterados.

Esse sistema foi escrito para ser usado em máquinas que têm os microprocessadores 6502, 8080, 8085, Z80, 9900, 6800 entre outros.

Possibilita por outro lado, facilidade de uso e grandes possibilidades de desenvolvimento de programas em hardware básico com um ou mais drivers para disco flexível, para armazenamento secundário, utilizando entre 48K a 64Kbytes de memória programável.

Pode-se utilizá-lo para processador de textos, processamento de dados, análises científicas, controle de processos, entre outros.

O sistema U.C.S.D. Pascal, proporciona um método operativo bastante prático, tendo sido desenvolvido em linguagem Pascal e utiliza-se de rotinas de biblioteca pré-preparadas com funções específicas, acionadas pelo teclado ou console, através de teclas ou chaves específicas. Apenas o interpretador e umas pequenas rotinas suportes não são escritas em Pascal, uma vez que esta configuração permite como resultado um software altamente transportável, pois para cada microprocessador

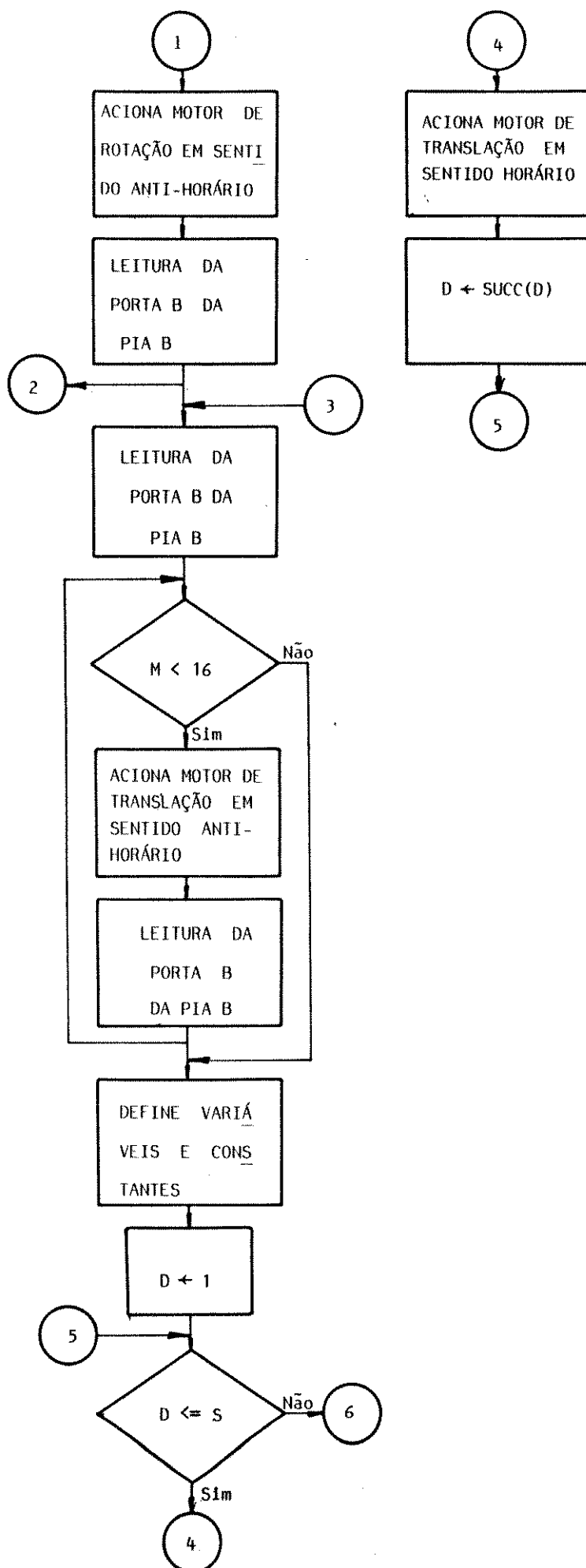
ou para cada arquitetura, é disponível um interpretador conjuntamente com as pequenas rotinas mencionadas dentro evidentemente, das características operacionais necessárias.

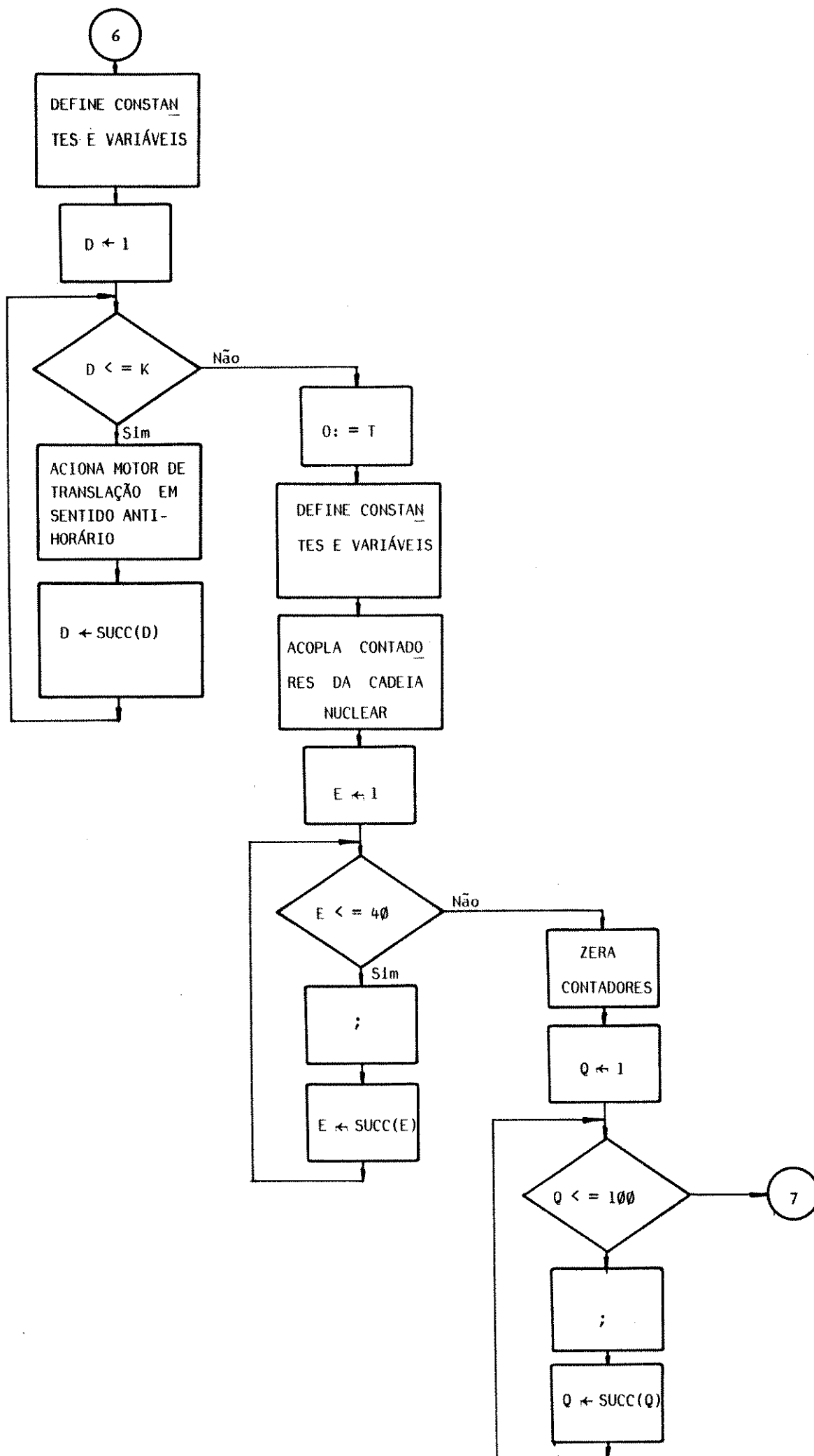
O sistema U.C.S.D. Pascal, apresenta diagrama estruturado na forma de árvore. A raiz da árvore é vista como o nível mais externo do sistema. Quando executado um dos comandos do nível mais externo, ocorre a chamada ou busca de programas que não apresentam estruturas visíveis ao usuário e assim, quando isto ocorre, o sistema é levado a um outro nível ou a um nível intermediário, o qual mostra uma nova linha de comandos disponíveis. Tal linha pode ser visualizada no topo da tela do vídeo do mini ou microcomputador em operação.

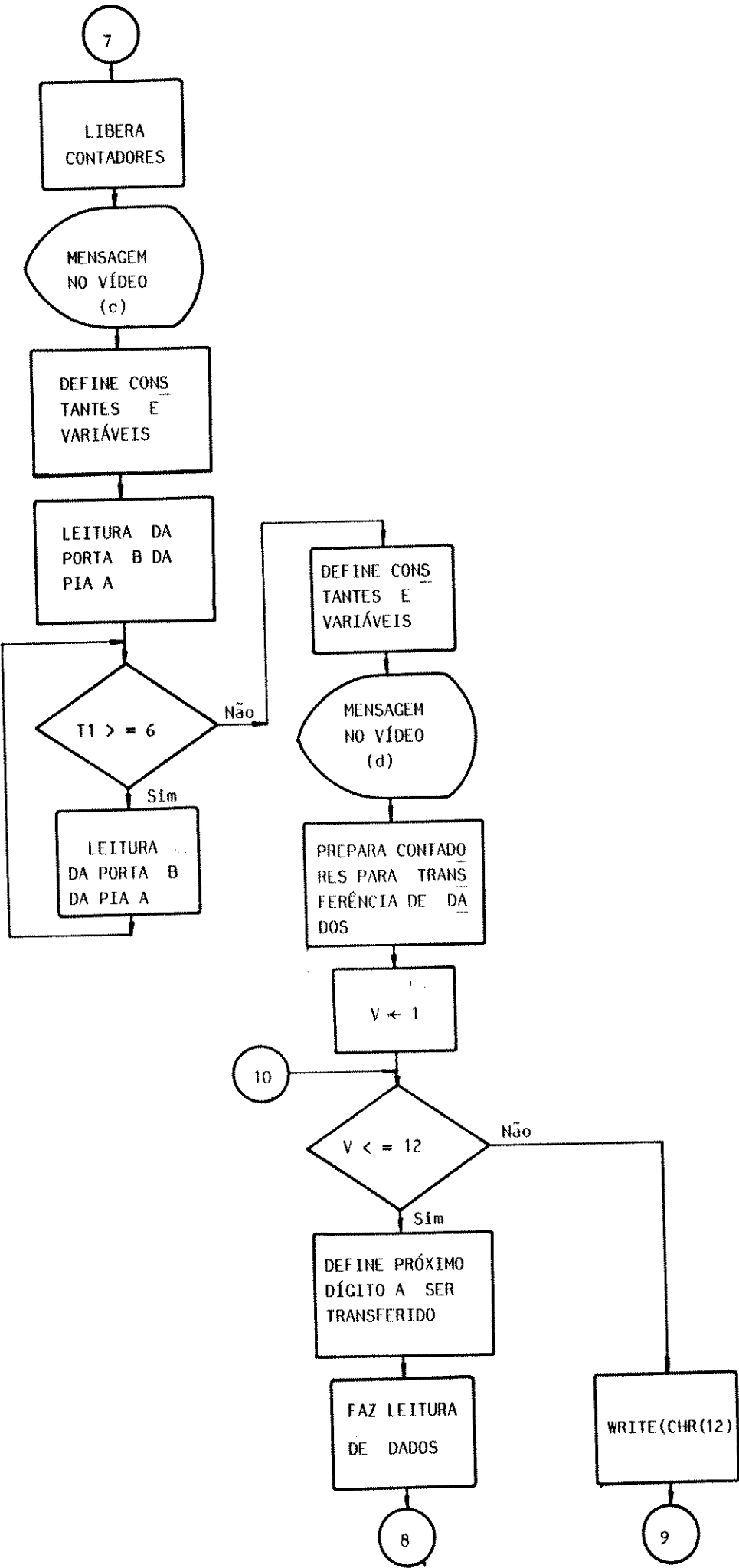
4.4 - O PROGRAMA DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS MTACCON

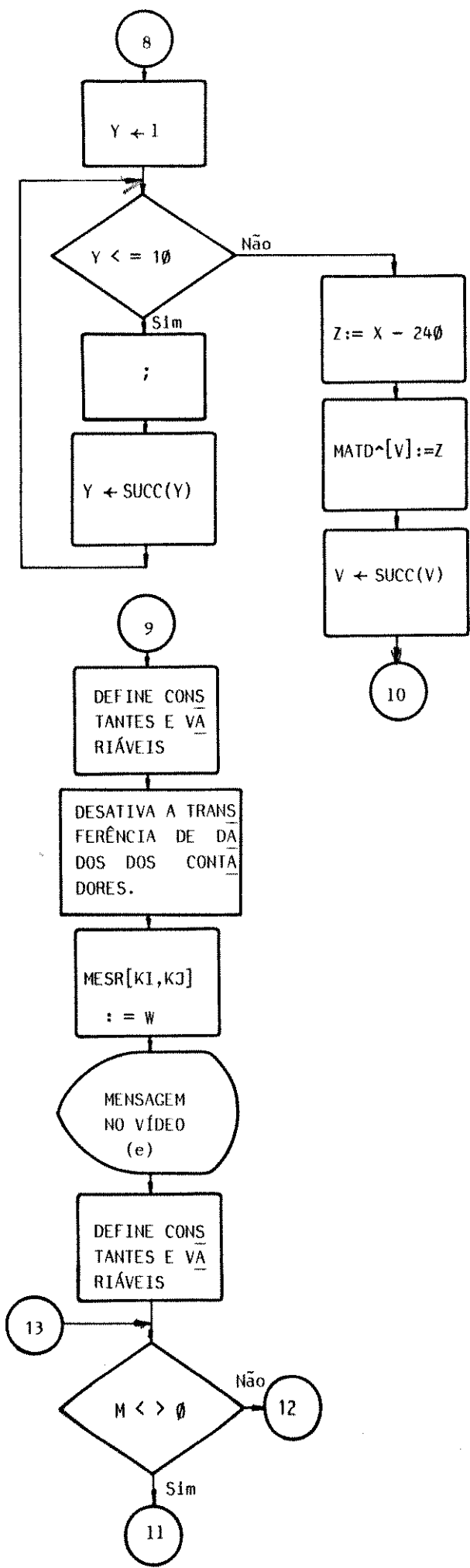
O programa de controle e aquisição de dados MTACCON, tem como objetivo efetuar todo o controle do minitomógrafo desenvolvido, buscando a interação da mesa tomográfica, cadeia nuclear e microcomputador via interface, bem como promover a aquisição dos dados das projeções de ângulo θ de um corpo em estudo.

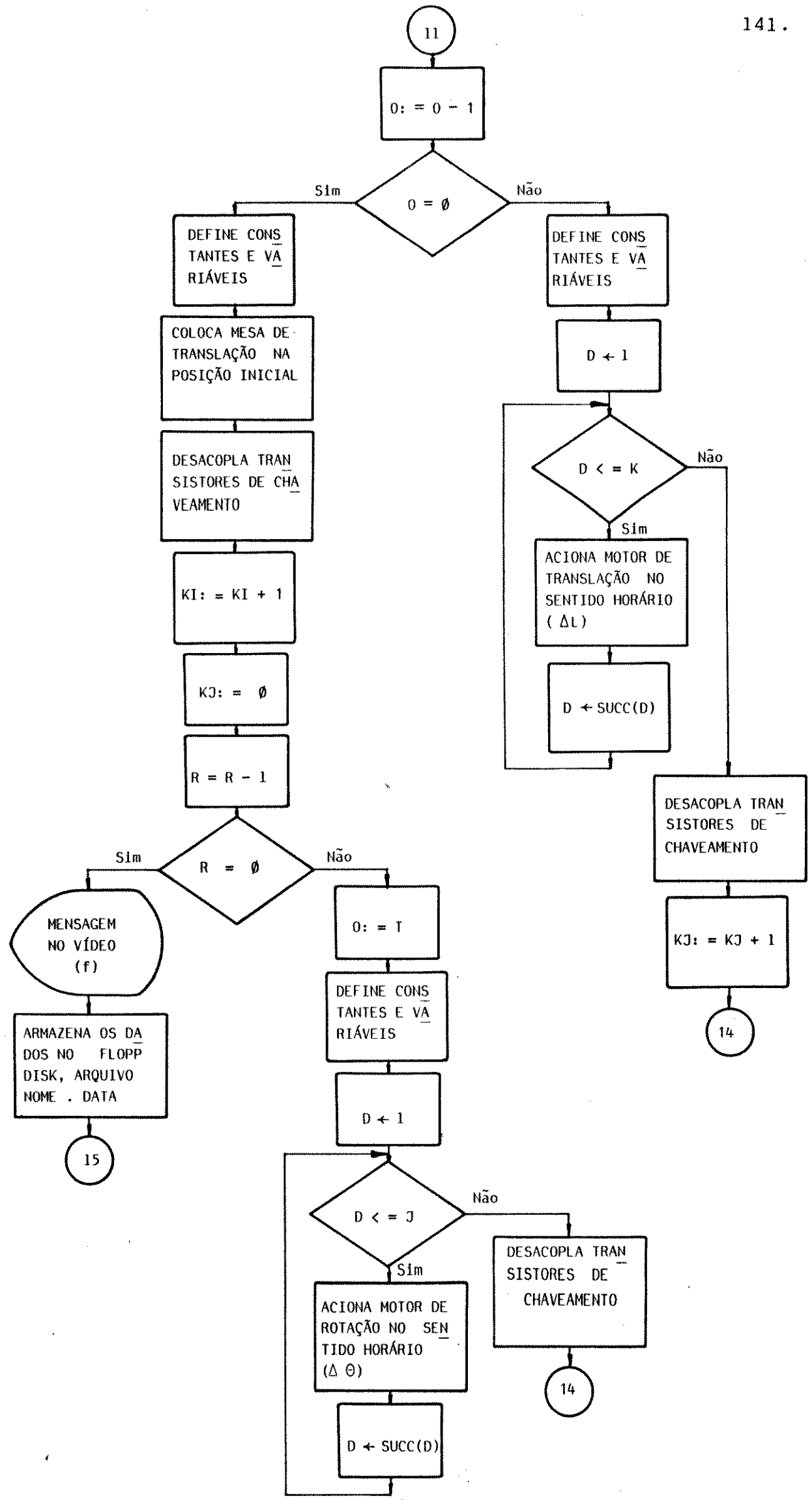
4.4.1 - FLUXOGRAMA DO SOFTWARE MTACCON

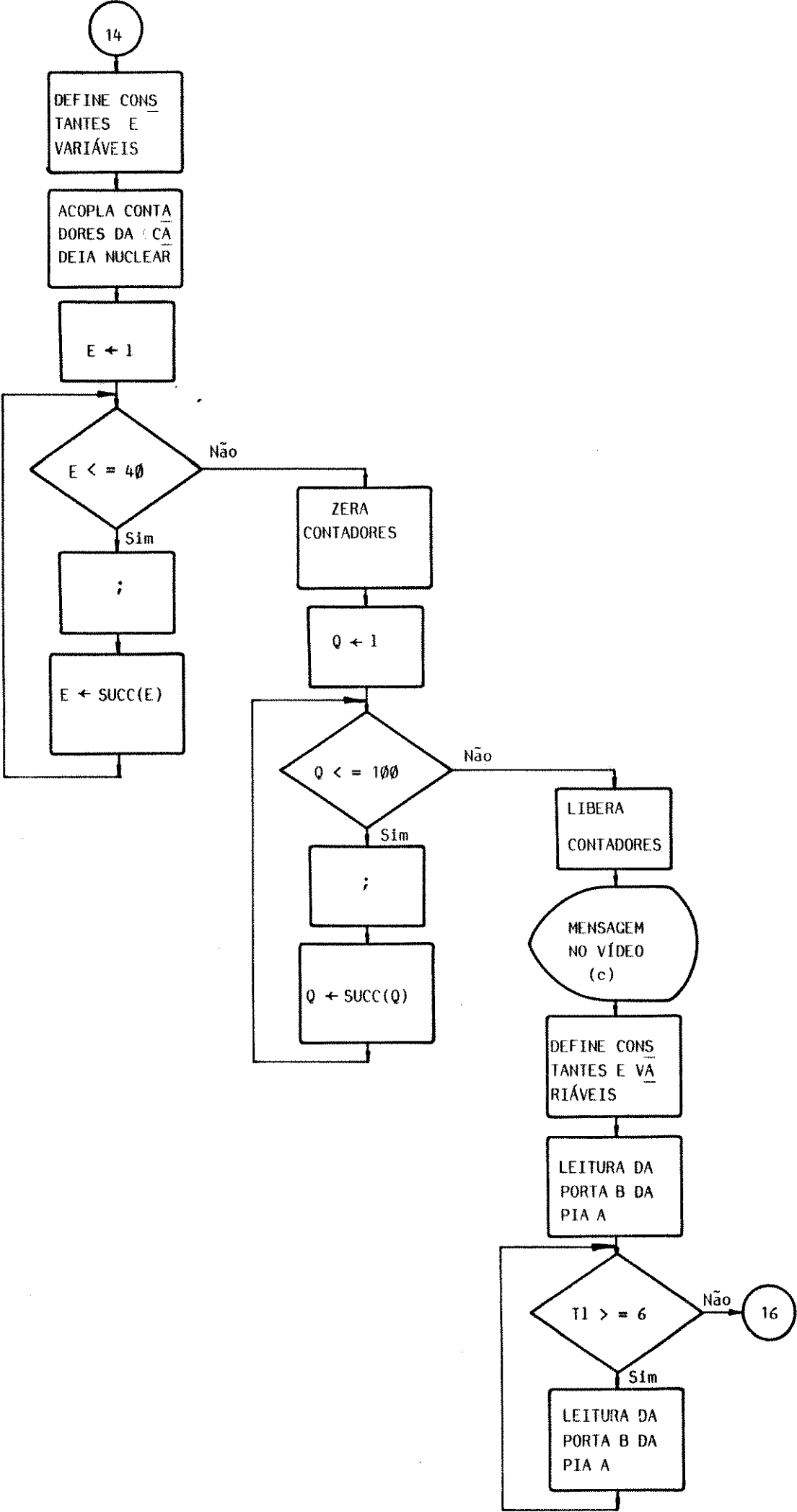


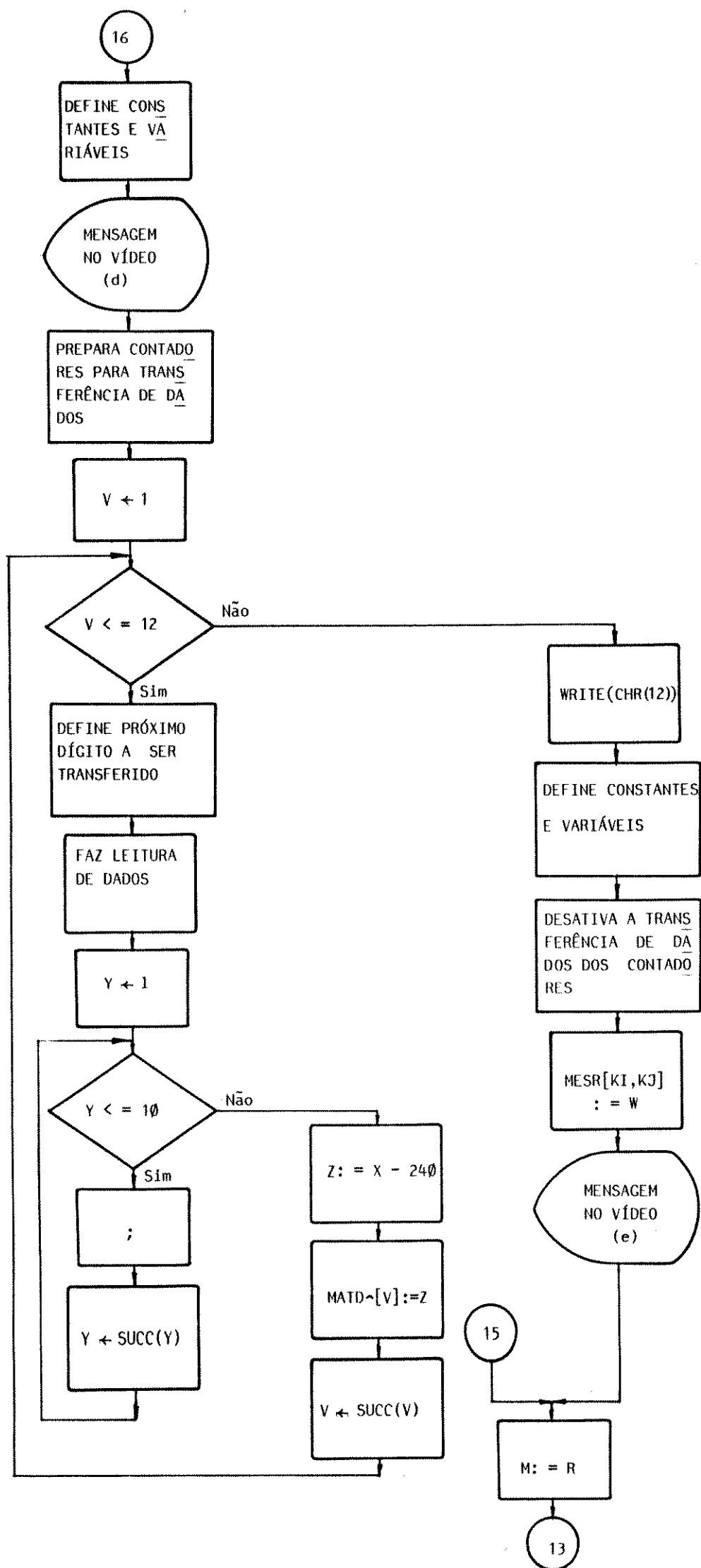


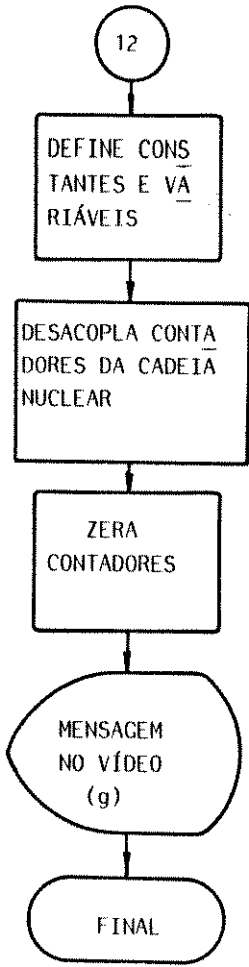












4.4.2 - LISTAGEM COMPLETA DO SOFTWARE MTACCON

```
PROGRAM MTACCON;
```

```
VAR MESR:ARRAY [0..80,0..80] OF REAL;
    MATD:FILE OF PACKED ARRAY [1..12] OF INTEGER;
    MATC:FILE OF PACKED ARRAY [0..80] OF INTEGER;
    RC,PA,TC,PL,J,K,D,U,EN:REAL;
    R,T,O,KI,KJ,L,M,E,Q,V,Y,Z,F,TY:INTEGER;
    WORDTYPES:(FORMAT,TAG,DATA);
```

```
PROCEDURE POKE(LOC,VALUE:INTEGER);
TYPE WINDOW=PACKED ARRAY[0..0] OF 0..255;
VAR ADDR:INTEGER;
    P:^WINDOW;
BEGIN
    ADDR:=LOC;
    MOVELEFT(ADDR,P,2);
    P^[0]:=VALUE;
END;
```

```
FUNCTION PEEK(LOC:INTEGER):INTEGER;
TYPE WINDOW=PACKED ARRAY[0..0] OF 0..255;
VAR ADDR:INTEGER;
    P:^WINDOW;
BEGIN
    ADDR:=LOC;
    MOVELEFT(ADDR,P,2);
    PEEK:=P^[0];
END;
```

```
PROCEDURE PIAA (*PREPARA A FIA 1*);
CONST
```

```
    TA=-16173;
    TB=-16174;
    TC=-16175;
    TD=-16176;
VAR I1,I2,I3,I4:INTEGER;
BEGIN
    I1:=TA;
    I2:=TB;
    I3:=TC;
    I4:=TD;
    POKE(I3,0);
    POKE(I1,0);
    POKE(I4,255);
    POKE(I3,4);
    POKE(I2,3);
    POKE(I1,4);
END;
```

```
PROCEDURE PIAB (*PREPARA A PIA 2*);
```

```
CONST
```

```
    TA=-16161;
```

```
    TB=-16162;
```

```
    TC=-16163;
```

```
    TD=-16164;
```

```
VAR I1,I2,I3,I4:INTEGER;
```

```
BEGIN
```

```
    I1:=TA;
```

```
    I2:=TB;
```

```
    I3:=TC;
```

```
    I4:=TD;
```

```
    POKE(I3,0);
```

```
    POKE(I1,0);
```

```
    POKE(I4,0);
```

```
    POKE(I3,4);
```

```
    POKE(I2,11);
```

```
    POKE(I1,4);
```

```
END;
```

```
PROCEDURE TRANSISTOR (*DESACOPLA TRANSISTORES DE CHAVEAMENTO*);
```

```
CONST
```

```
    TA=-16176;
```

```
VAR I1:INTEGER;
```

```
BEGIN
```

```
    I1:=TA;
```

```
    POKE(I1,0);
```

```
END;
```

```
PROCEDURE DESACOPLAMENTO (*DESACOPLA CONTADOR E TEMPORIZADOR*);
```

```
CONST
```

```
    TA=-16162;
```

```
    TB=-16174;
```

```
VAR I1,I2:INTEGER;
```

```
BEGIN
```

```
    I1:=TA;
```

```
    I2:=TB;
```

```
    POKE(I1,9);
```

```
    POKE(I2,0);
```

```
END;
```

```
PROCEDURE INICIO (* LE DADOS DE ENTRADA E DEFINE TITULO*);
```

```
BEGIN
```

```
    WRITE(CHR(12));
```

```
    GOTOXY(16,0);WRITELN('-----');;
```

```
    GOTOXY(16,1);WRITELN('-----');;
```

```
    GOTOXY(16,2);WRITELN('---MINITOMOGRFO DE RAO-X E RAO-GAMA ---');;
```

```
    GOTOXY(16,3);WRITELN('---EMBRAPA-UAPDIA,SAO CARLOS-SP ---');;
```

```
    GOTOXY(16,4);WRITELN('-----');;
```

```
    GOTOXY(16,5);WRITELN('-----');;
```

```
    WRITELN;WRITELN;WRITELN;
```

```
    WRITE('ENTRE COM A TRANSLACAO COMPLETA EM MILIMETRO(S) TC= ');
```

```
    READLN(TC);WRITELN;
```

```
    WRITE('ENTRE COM O PASSO LINEAR EM MILIMETRO(S) PL= ');
```

```
    READLN(PL);WRITELN;
```

```
    WRITE('ENTRE COM A ROTACAO COMPLETA EM GRAU(S) RC= ');
```

```
    READLN(RC);WRITELN;
```

```
    WRITE('ENTRE COM O PASSO ANGULAR EM GRAU(S) PA= ');
```

```
    READLN(PA);WRITELN;
```

```
    WRITE('ENTRE COM A ENERGIA EM KeV(S) EN= ');
```

```
    READLN(EN);WRITELN;
```

```
END;
```

```
PROCEDURE CALCULOS;
```

```
BEGIN
```

```
  T:=ROUND((TC/PL)+1);
```

```
  R:=ROUND((RC/PA)+1);
```

```
  KI:=0;KJ:=0;
```

```
END;
```

```
PROCEDURE MESAS (*COLOCA MESAS NA POSICAO INICIAL*);
```

```
CONST
```

```
  MES=-16174;
```

```
  TA=-16176;
```

```
VAR I1,I2:INTEGER;
```

```
BEGIN
```

```
  WRITE(CHR(12));GOTOXY(0,0);
```

```
  WRITELN('-----');;
```

```
  WRITELN('-----');;
```

```
  WRITELN('AS MESAS DE ROTACAO E TRANSLACAO ESTAO-');;
```

```
  WRITELN('SENDO COLOCADAS NA POSICAO INICIAL -');;
```

```
  WRITELN('-----');;
```

```
  I1:=MES;
```

```
  I2:=TA;
```

```
  L:=PEEK(I1);
```

```
  WHILE L<8 DO BEGIN
```

```
    POKE(I2,224);
```

```
    POKE(I2,240);
```

```
    L:=PEEK(I1);
```

```
  END;
```

```
  M:=PEEK(I1);
```

```
  WHILE M<16 DO BEGIN
```

```
    POKE(I2,14);
```

```
    POKE(I2,15);
```

```
    M:=PEEK(I1);
```

```
  END;
```

```
END;
```

```
PROCEDURE DISPLAY (*CONTROLE DO CONTADOR E TEMPORIZADOR*);
```

```
CONST
```

```
  TA=-16162;
```

```
  TB=-16174;
```

```
VAR I1,I2:INTEGER;
```

```
BEGIN
```

```
  I1:=TA;
```

```
  I2:=TB;
```

```
  POKE(I1,9);
```

```
  FOR E:=1 TO 40 DO;
```

```
    POKE(I2,0);
```

```
    POKE(I2,1);
```

```
  FOR Q:=1 TO 100 DO;
```

```
    POKE(I2,2);
```

```
  WRITE(CHR(12));GOTOXY(0,0);
```

```
  WRITELN('-----');;
```

```
  WRITELN('-----');;
```

```
  WRITELN('ESTA SENDO FEITA A CONTAGEM-');;
```

```
  WRITELN('-----');;
```

```
  WRITELN('-----');;
```

```
END;
```

```

PROCEDURE ESPERA (*ESPERA O FINAL DA TEMPORIZACAO*);
CONST
  ESP=-16174;
VAR I1,T1:INTEGER;
BEGIN
  I1:=ESP;
  T1:=PEEK(I1);
  WHILE T1>=6 DO BEGIN
    T1:=PEEK(I1);
  END;
END;

```

```

PROCEDURE AQUISICAO (*PROCESSA A AQUISICAO DE DADOS*);
CONST
  TA=-16162;
  TB=-16164;
VAR I1,I2,V,X,Y,Z:INTEGER;
BEGIN
  WRITE(CHR(12));GOTOXY(0,0);
  WRITELN('-----');
  WRITELN('-');
  WRITELN('-ESTA SENDO FEITA A AQUISICAO DE DADOS-');
  WRITELN('-');
  WRITELN('-----');
  I1:=TA;
  I2:=TB;
  POKE(I1,0);
  POKE(I1,2);
  FOR V:=1 TO 12 DO BEGIN
    POKE(I1,2);
    POKE(I1,10);
    X:=PEEK(I2);
    FOR Y:=1 TO 10 DO;
      Z:=(X-240);
      MATD[V]:=Z;
    END;
  END;
  WRITE(CHR(12));
END;

```

```

PROCEDURE MEMORIA (*ARMAZENA DADOS TEMPORARIAMENTE*);
CONST
  T1=100000;
  T2=10000;
  T3=1000;
  T4=100;
  T5=10;
  T6=1;
VAR A,B,C,D,E,G:INTEGER;
    W1,W2,W3,W4,W5,W6,W:REAL;
BEGIN
  W2:=T2;W3:=T3;W4:=T4;W5:=T5;W6:=T6;
  A:=ROUND(MATD[7]);B:=ROUND(MATD[8]);C:=ROUND(MATD[9]);
  D:=ROUND(MATD[10]);E:=ROUND(MATD[11]);G:=ROUND(MATD[12]);
  W:=(A*W1+B*W2+C*W3+D*W4+E*W5+G*W6);MESR[KI,KJ]:=W;
  GOTOXY(0,10);WRITE('KI=',KI,',',KJ=' ',KJ,'--->',MESR[KI,KJ]);
END;

```

```
PROCEDURE TRANSLACAO (*ACIONA MOTOR DE TRANSLACAO NO SENTIDO HORARIO*);
CONST
```

```
    TT=-16176;
```

```
VAR I8,K,D,N: INTEGER;
```

```
BEGIN
```

```
    N:=ROUND(PL/0.01);
```

```
    K:=N;
```

```
    I8:=TT;
```

```
    FOR D:=1 TO K DO BEGIN
```

```
        POKE(I8,12);
```

```
        POKE(I8,13);
```

```
    END;
```

```
END;
```

```
PROCEDURE ROTACAO (*ACIONA MOTOR DE ROTACAO NO SENTIDO HORARIO*);
CONST
```

```
    TA=-16176;
```

```
VAR I1,J,D,M: INTEGER;
```

```
BEGIN
```

```
    M:=ROUND(PA/0.0428571429);
```

```
    J:=M;
```

```
    I1:=TA;
```

```
    FOR D:=1 TO J DO BEGIN
```

```
        POKE(I1,192);
```

```
        POKE(I1,208);
```

```
    END;
```

```
END;
```

```
PROCEDURE RETORNO (*POSICIONA MESA DE TRANSLACAO*);
CONST
```

```
    TA=-16176;
```

```
VAR I1,D,U,S: INTEGER;
```

```
BEGIN
```

```
    U:=ROUND(TC/0.01);
```

```
    S:=U;
```

```
    I1:=TA;
```

```
    FOR D:=1 TO S DO BEGIN
```

```
        POKE(I1,14);
```

```
        POKE(I1,15);
```

```
    END;
```

```
END;
```

```

PROCEDURE DIODO (*EXECUTA FUNCOES DE AQUISICAO*);
BEGIN
  DISPLAY; ESPERA; AQUISICAO; DESACOPLAMENTO; MEMORIA;
END;

```

```

PROCEDURE ARMAZENA (*ARMAZENA DADOS NO DISCO*);
VAR  MATS: FILE OF PACKED ARRAY[0..80] OF REAL;
     MATOUT: STRING;
     NTE, NTR, DTR, FNI: REAL;
     IC, K1, K2, TR: INTEGER;
BEGIN
  NTE:=(RC/PA)+1; NTR:=(TC/PL)+1; DTR:=(PL*3.1415)/180;
  K1:=ROUND(NTR); K2:=ROUND(NTE); WRITE(CHR(12));
  WRITE(CHR(13), CHR(13), CHR(13), 'ENTRE NOME DO ARQUIVO : '); READLN(MATOUT);
  MATOUT:=CONCAT(MATOUT, '.DATA');
  REWRITE(MATS, MATOUT);
  GOTOXY(0,20); WRITE('COLOCANDO DADOS NO DISCO...');
  FOR KJ:=0 TO 80 DO MATS^[KJ]:=0;
  FNI:=0;
  FOR KJ:=0 TO K1 DO
    FOR KI:=0 TO (K2-1) DO
      IF (MESR[KI, KJ] > FNI) THEN FNI:=MESR[KI, KJ];
      MATS^[0]:=NTE; MATS^[1]:=(NTR-1); MATS^[2]:=DTR; MATS^[3]:=FNI;
      MATS^[4]:=EN; PUT(MATS);
      FOR KI:=0 TO (K2-1) DO BEGIN
        FOR KJ:=0 TO K1 DO
          MATS^[KJ]:=MESR[KI, KJ];
          PUT(MATS); END;
      CLOSE(MATS, LOCK);
      TRANSISTOR; DESACOPLA; WRITE(CHR(12));
    END;
  END;

```

```

PROCEDURE CAPACITOR (*EXECUTA FUNCOES DE ROTACAO E AQUISICAO*);
BEGIN
  RETORNO; TRANSISTOR;
  KI:=KI+1; KJ:=0; R:=R-1;
  IF R=0 THEN ARMAZENA ELSE BEGIN
    O:=T;
    ROTACAO; TRANSISTOR;
    DIODO; END;
  END;

```

```

PROCEDURE RESISTOR (*EXECUTA FUNCOES DE TRANSLACAO E AQUISICAO*);
BEGIN
  TRANSLACAO; TRANSISTOR;
  KJ:=KJ+1; DIODO;
  END;

```

```

PROCEDURE OSCILADOR (*DEFINE O CONTROLE DO PROCESSO*);
BEGIN
  O:=0-1;
  IF O=0 THEN CAPACITOR ELSE RESISTOR;
END;

```

```

PROCEDURE EXECUTA (*CONTROLE GERAL*);
VAR M: INTEGER;
BEGIN
  M:=R;
  WHILE M<>0 DO BEGIN
    OSCILADOR;
    M:=R;
  END;
END;

```

```

PROCEDURE CENTRO (*COLOCA MESA NO CENTRO*);
CONST
  TA=-16176;
VAR I1,D,U,S: INTEGER;
BEGIN
  U:=ROUND(150/0.02);
  S:=U;
  I1:=TA;
  FOR D:=1 TO S DO BEGIN
    POKE(I1,12);
    POKE(I1,13);
  END;
END;

```

```

PROCEDURE REPOSICIONA (*DEFINE COORDENADAS*);
CONST
  TA=-16176;
VAR I1,K,D,N: INTEGER;
BEGIN
  N:=ROUND(TC/0.02);
  K:=N;
  I1:=TA;
  FOR D:=1 TO K DO BEGIN
    POKE(I1,14);
    POKE(I1,15);
  END;
END;

```

```

PROCEDURE FINAL (*MENSAGEM FINAL*);
CONST
  TA=-16162;
  TB=-16174;
VAR I1,I2: INTEGER;
BEGIN
  I1:=TA;
  I2:=TB;
  POKE(I1,9);POKE(I2,0);POKE(I2,1);
  WRITE(CHR(12));GOTOXY(0,14);WRITELN('ESTA COMPLETA A AQUISICAO');
  GOTOXY(0,15);WRITELN('DE DADOS,USE O SOFTWARE DE');
  GOTOXY(0,16);WRITELN('RECONSTRUCAO --->MTACREC');
END;

```

```

BEGIN (*MAIN MTACCON*)
  PIAA;TRANSISTOR;PIAB;DESACOPLAMENTO;INICIO;CALCULOS;MESAS;CENTRO;
  REPOSICIONA;O:=I;
  DIODO;EXECUTA;FINAL;
END.

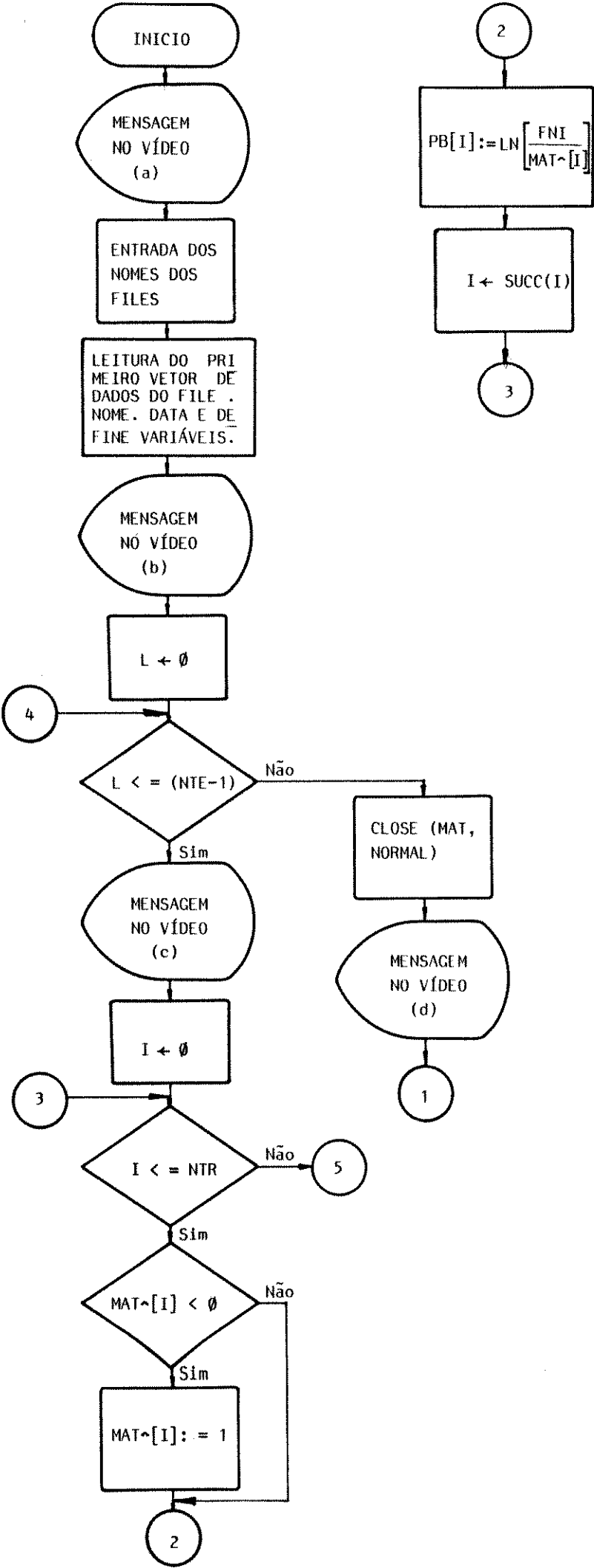
```

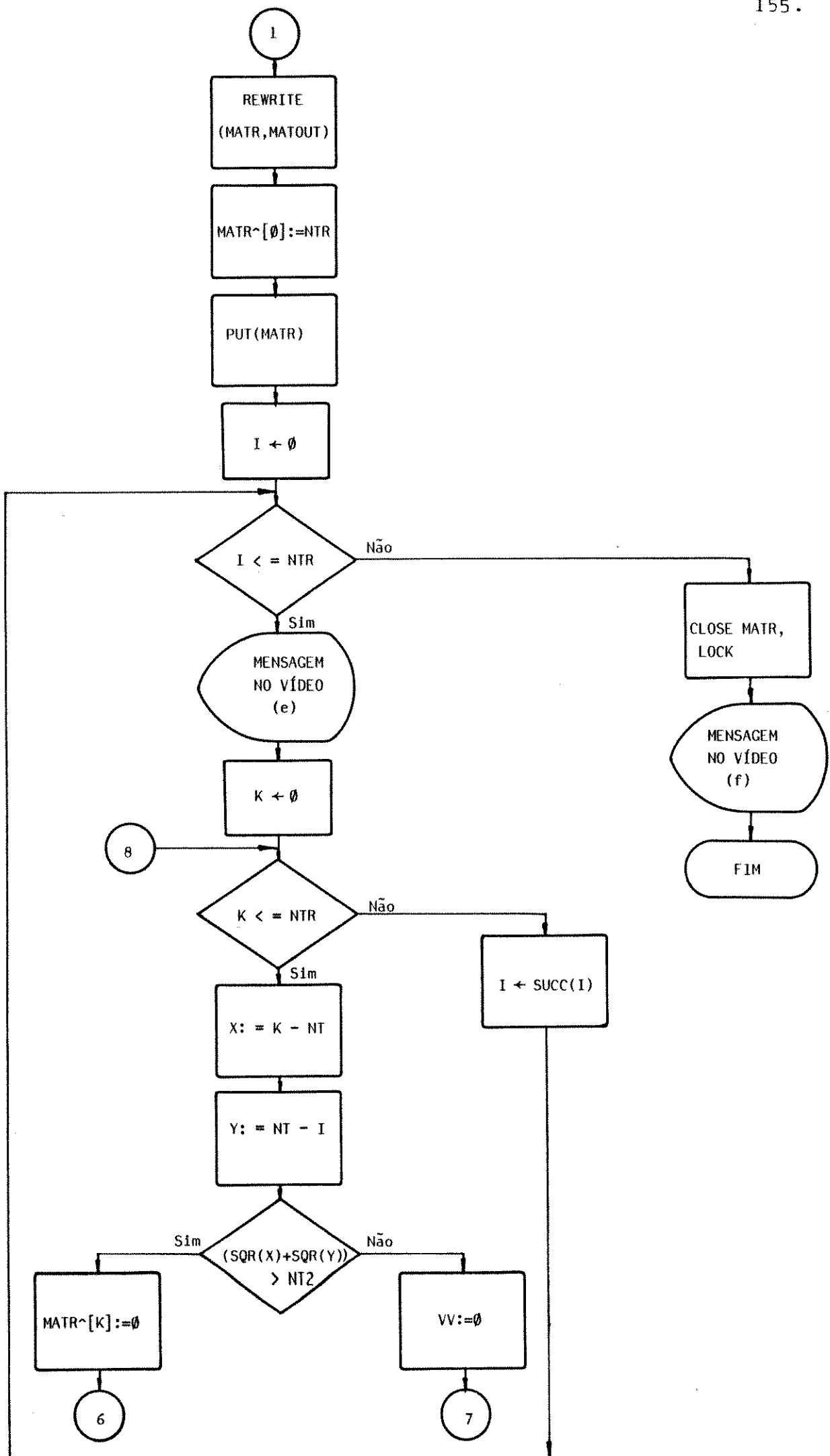
4.5 - O PROGRAMA DE RECONSTRUÇÃO DE IMAGEM MTACREC

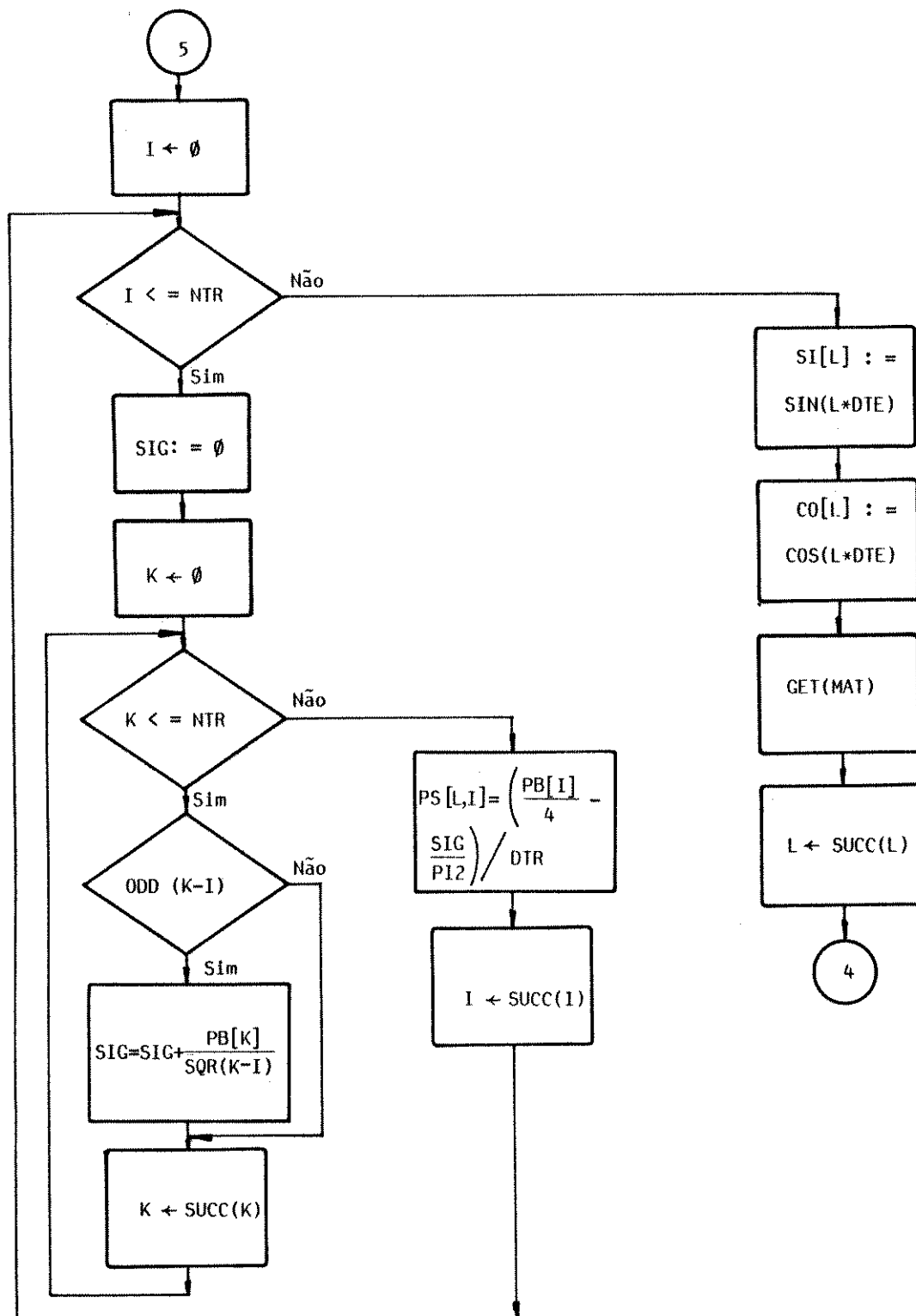
O programa de reconstrução de imagem MTACREC, tem como objetivo efetuar a reconstrução de secção de interese de um corpo sob estudo, gerando a partir dos dados coletados pelo software MTACCON, uma matriz imagem.

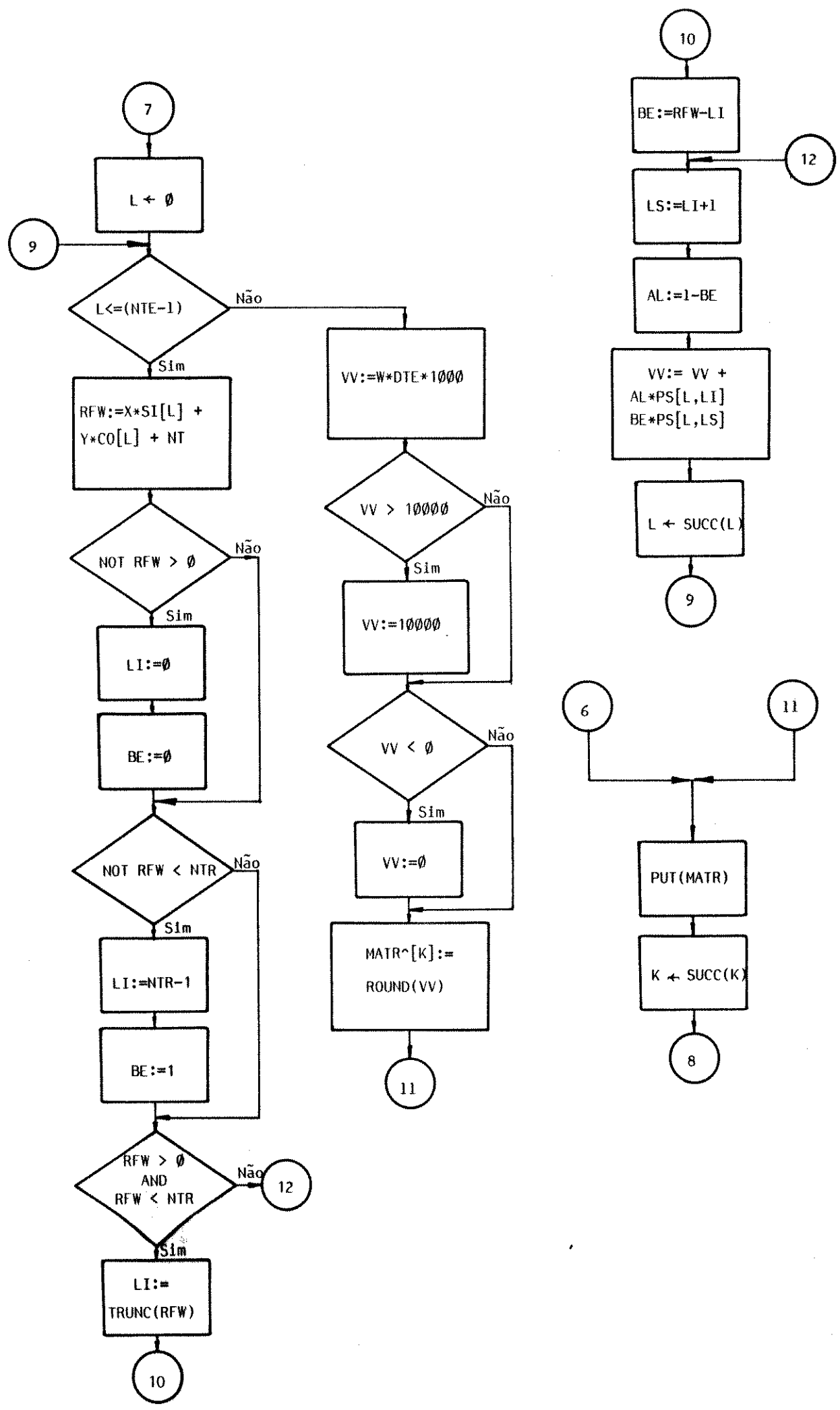
Foi desenvolvido utilizando o algoritmo de re retroprojeção filtrada, o qual mostrou-se útil e eficiente para aplicações com microcomputadores⁽¹⁾.

4.5.1 - FLUXOGRAMA DO SOFTWARE MTACREC









4.5.2 - LISTAGEM COMPLETA DO SOFTWARE MTACREC

```
PROGRAM MTACREC;
```

```
USES TRANSCEND;
```

```
VAR MAT:FILE OF PACKED ARRAY[0..80] OF REAL;
    MATR:FILE OF PACKED ARRAY[0..80] OF INTEGER;
    PS:PACKED ARRAY[0..80,0..80] OF REAL;
    PB,SI,CO:PACKED ARRAY[0..80] OF REAL;
    I,K,L,X,Y,NTE,NTR,NT,NT2,LI,LS: INTEGER;
    FNI,DTE,DTR,PI2,SIG,RFW,AL,BE,VV:REAL;
    MATINP,MATOUT:STRING;
    PI:REAL;
```

```
PROCEDURE LEDADOS (*SALVA DADOS DECORRENTES*);
```

```
BEGIN
```

```
    WRITE(CHR(12));
    GOTOXY(16,0);WRITELN('-----');
    GOTOXY(16,1);WRITELN('-----');
    GOTOXY(16,2);WRITELN('----- MTAC-RECONSTRUCAO -----');
    GOTOXY(16,3);WRITELN('-----');
    GOTOXY(16,4);WRITELN('-----');
    WRITELN; WRITELN;
    WRITE('NOME FILE DE INPUT: '); READLN(MATINP);
    WRITELN; MATINP:=CONCAT(MATINP, '.DATA');
    WRITE('NOME FILE DE OUTPUT: '); READLN(MATOUT);
    WRITELN; MATOUT:=CONCAT(MATOUT, '.IMAGE');
    RESET(MAT,MATINP);
    NTE:=ROUND(MAT^[0]); NTR:=ROUND(MAT^[1]);
    DTR:=MAT^[2]; FNI:=MAT^[3]; GET(MAT);
    PI:=ATAN(1)*4; PI2:=SQR(PI); DTE:=PI/NTE; NT:=NTR DIV 2; NT2:=SQR(NT);
    GOTOXY(0,13); WRITE(' FILTRAGEM - ');
```

```
END;
```

```
PROCEDURE FILTRAGEM;
```

```
BEGIN
```

```
    FOR L:=0 TO (NTE-1) DO
```

```
        BEGIN
```

```
            GOTOXY(0,16); WRITE('LINHA L=',L:3, ' ');
```

```
            FOR I:=0 TO NTR DO
```

```
                BEGIN
```

```
                    IF (MAT^[I]<0) THEN MAT^[I]:=1;
```

```
                    PB[I]:=LN(FNI/MAT^[I]);
```

```
                END;
```

```
            FOR I:=0 TO NTR DO
```

```
                BEGIN
```

```
                    SIG:=0;
```

```
                    FOR K:=0 TO NTR DO IF ODD(K-1) THEN SIG:=SIG+PB[K]/SQR(K-1);
```

```
                    PS[L,I]:=(PB[I]/4-SIG/PI2)/DTR;
```

```
                END;
```

```
            SI[L]:=SIN(L*DTE); CO[L]:=COS(L*DTE);
```

```
            GET (MAT);
```

```
        END;
```

```
    CLOSE(MAT,NORMAL);
```

```
    GOTOXY(0,13); WRITE(' CALCULO DA MATRIZ - ');
```

```
END;
```

```

BEGIN (*MAIN MTACREC*)
  LEDADOS; FILTRAGEM;
  REWRITE(MATR,MATOUT); MATR^[0]:=NTR; PUT(MATR);
  FOR I:=0 TO (NTE-1) DO
    BEGIN
      GOTOXY(0,16); WRITE('LINHA I=',I:3,' ');
      FOR K:=0 TO NTR DO
        BEGIN
          X:=K-NT; Y:=NT-I;
          IF ((SQR(X)+SQR(Y))>NT2) THEN MATR^[K]:=0 ELSE
            BEGIN
              VV:=0;
              FOR L:=0 TO (NTE-1) DO
                BEGIN
                  RFW:=X*SI[L]+Y*CO[L]+NT;
                  IF NOT (RFW>0) THEN BEGIN LI:=0; BE:=0; END;
                  IF NOT (RFW<NTR) THEN BEGIN LI:=NTR-1; BE:=1; END;
                  IF (RFW>0) AND (RFW<NTR) THEN
                    BEGIN LI:=TRUNC(RFW); BE:=RFW-LI; END;
                  LS:=LI+1; AL:=1-BE; VV:=VV+AL*PS[L,LI]+BE*PS[L,LS];
                END;
              VV:=VV*DTE*1000;
              IF (VV>10000) THEN VV:=10000;
              IF (VV<0) THEN VV:=0;
              MATR^[K]:=ROUND(VV);
            END;
        END;
      PUT(MATR);
    END;
  CLOSE(MATR,LOCK);
  WRITE(CHR(12)); GOTOXY(0,14); WRITELN('FIM DE PROCESSAMENTO,');
  GOTOXY(0,15); WRITELN('USE O SOFTWARE --->MTACSEC');
  GOTOXY(0,16); WRITELN('PARA VER A SECCAO');
END.

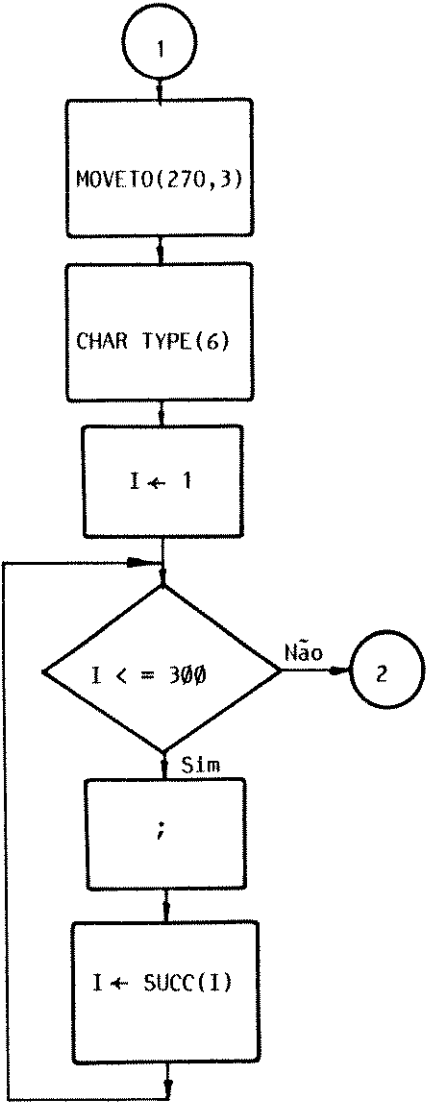
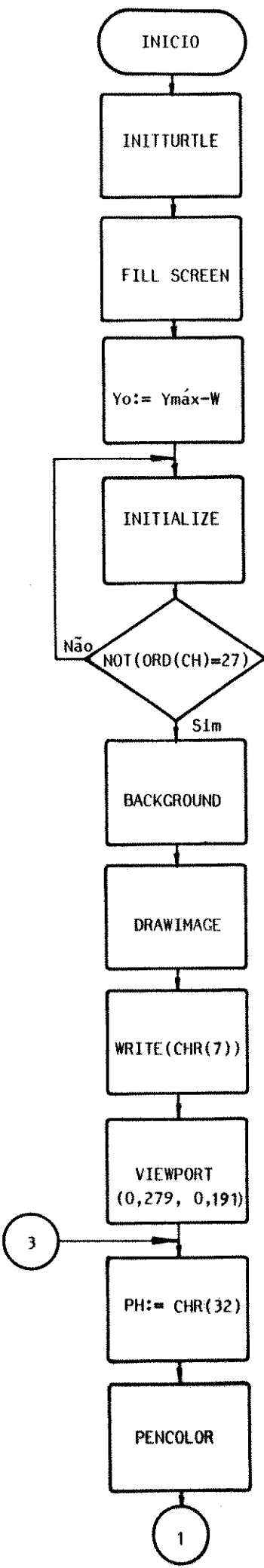
```

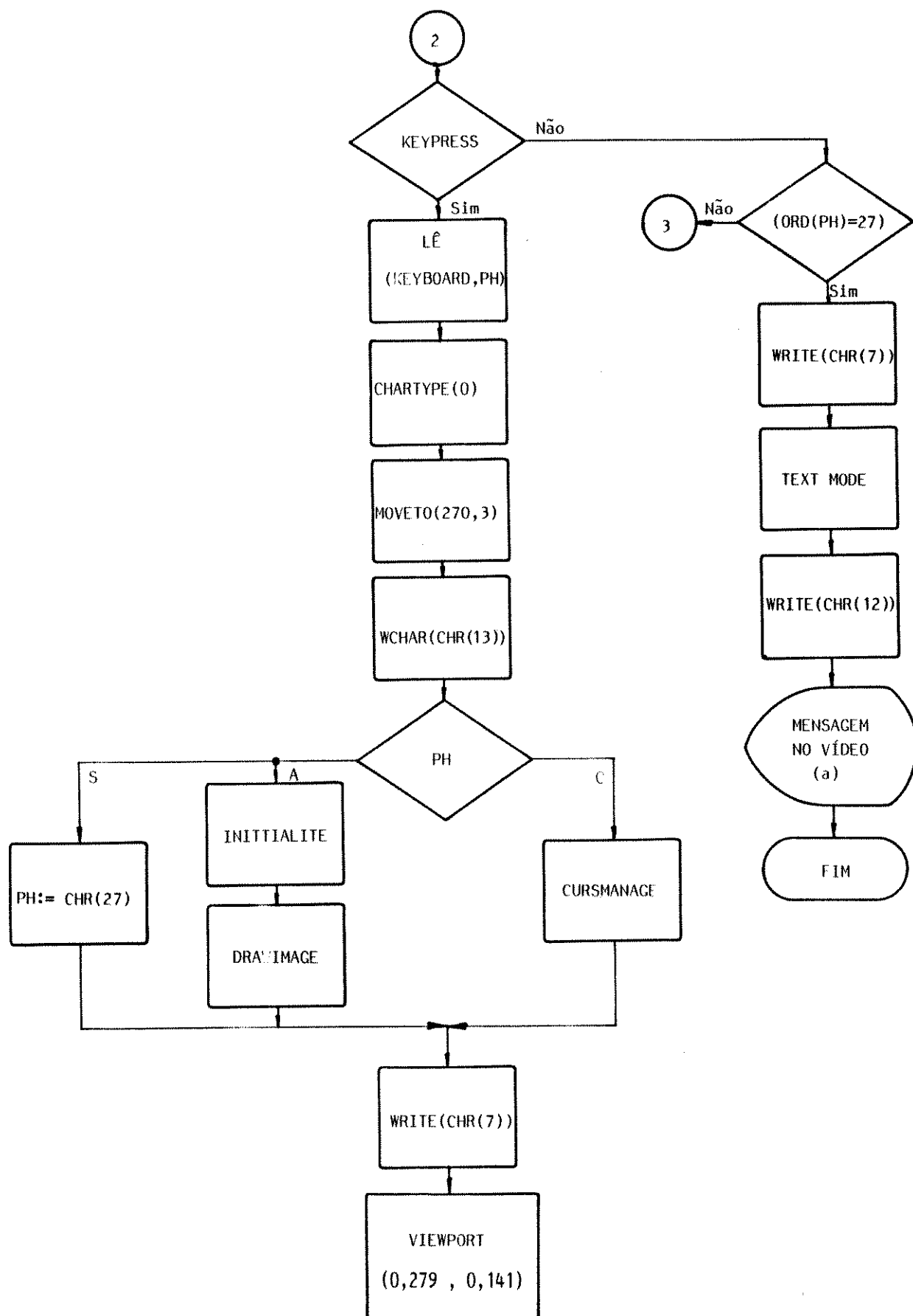
4.6 - O PROGRAMA GRÁFICO PARA VISUALIZAR UMA SECÇÃO RECONSTRUÍDA MTACSEC COM POSSIBILIDADE DE MEDIDAS DO COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO LINEAR AO LONGO DA IMAGEM

O programa gráfico para visualizar uma secção reconstruída MTACSEC, tem como objetivo possibilitar a visualização dos resultados obtidos a partir do software MTACREC, mostrando no vídeo do microcomputador a imagem da secção ou corte tomográfico de um corpo em estudo, como também possibilita ao usuário medidas do coeficiente de atenuação linear ao longo da imagem.

Foi desenvolvido utilizando os recursos gráficos do Micro Engenho².

4.6.1 - FLUXOGRAMA GERAL DO SOFTWARE MTACSEC





4.6.2 - LISTAGEM COMPLETA DO SOFTWARE MTACSEC

```
PROGRAM MTACSEC;
```

```
USES TURTLEGRAPHICS,APPLESTUFF;
```

```
CONST W=160;  
      YMAX=191;
```

```
VAR PS:PACKED ARRAY[0..80,0..80] OF INTEGER;  
    NR,NC,I,J: INTEGER;  
    MAX,X,Y,YO,XP,YF: INTEGER;  
    TSH,E,BUF: REAL;  
    RIGA:PACKED ARRAY[0..1,0..W] OF BOOLEAN;  
    CH,PH: CHAR;  
    IMAGE,ST: STRING[40];
```

```
PROCEDURE MINUS(TS:STRING);  
FORWARD;
```

```
SEGMENT PROCEDURE BACKGROUND;
```

```
PROCEDURE TITLE;
```

```
BEGIN
```

```
VIEWPORT(W+10,279,W,YMAX); FILLSCREEN(BLACK); CHARTYPE(14);  
PENCOLOR(NONE); MOVETO(W+10,YMAX); PENCOLOR(WHITE);  
MOVETO(279,YMAX); MOVETO(279,W); MOVETO(W+10,W); MOVETO(W+10,YMAX);  
PENCOLOR(NONE);  
MOVETO(W+15,181); WSTRING('UAPDIA-EMBRAPA');  
MOVETO(W+15,163); WSTRING('SAO CARLOS-SP');
```

```
END;
```

```
PROCEDURE GRAYSCALE;
```

```
VAR KL: INTEGER;
```

```
BEGIN
```

```
VIEWPORT(W+10,279,YO-1,W-20); FILLSCREEN(BLACK); RANDOMIZE;  
PENCOLOR(NONE); MOVETO(W+10,YO-1); PENCOLOR(WHITE);  
MOVETO(279,YO-1); MOVETO(279,W-20); MOVETO(W+10,W-20); MOVETO(W+10,YO-1);  
PENCOLOR(NONE); MOVETO(W+40,YO-1); PENCOLOR(WHITE); MOVETO(W+40,W-20);  
MOVETO(W+70,W-20); MOVETO(W+70,YO-1); PENCOLOR(NONE); KL:=W+41;  
FOR Y:=YO TO (W-21) DO
```

```
  BEGIN
```

```
    BUF:=11-TRUNC((Y-YO)/9);
```

```
    FOR X:=0 TO 28 DO
```

```
      BEGIN
```

```
        TSH:=3.357E-4*RANDOM;
```

```
        RIGA[1,X]:=NOT(BUF<TSH);
```

```
        RIGA[0,X]:=RIGA[1,X];
```

```
      END;
```

```

        DRAWLOCK(RIGA,21,0,0,29,1,KL,Y,10);
    END;
    PENCOLOR(NONE); MOVETO(W+36,YD-1);
    FOR X:=1 TO 10 DO
        BEGIN
            TURNT0(90); MOVE(10);
            TURNT0(0); PENCOLOR(REVERSE); MOVE(38);
            PENCOLOR(NONE); TURNT0(180); MOVE(38);
        END;
    MOVETO(W+77,YD+1); CHARTYPE(10); MINUS('MAX'); WSTRING(ST);
    MOVETO(W+77,YD+51); MINUS('MED'); WSTRING(ST);
    MOVETO(W+77,YD+101); MINUS('MIN'); WSTRING(ST);
END;

BEGIN (* MAIN BACKGROUND *)
    TITLE; GRAYSCALE;
END;

SEGMENT PROCEDURE INITIALIZE;
VAR MAT:FILE OF PACKED ARRAY[0..80] OF INTEGER;
    MATINP:STRING[40];

PROCEDURE RSTRING;
VAR A:INTEGER;
BEGIN
    A:=1; IMAGE:=''; TURNT0(180);
    CHARTYPE(9); WCHAR(CHR(32));
    REPEAT
        IF A>1 THEN BEGIN CHARTYPE(9); WCHAR(CHR(32)); END;
        READ(KEYBOARD,CH);
        IF (ORD(CH) IN [0..7,9..23,25..31]) AND (A>1) THEN MOVE(7);
        IF ORD(CH) IN [32..90] THEN (* LITERAL *)
            BEGIN
                MOVE(7); CHARTYPE(10);
                IMAGE:=CONCAT(IMAGE,' ');
                IMAGE[A]:=CH;
                A:=A+1; WCHAR(CH);
            END;
        IF ORD(CH)=24 THEN (* ASCII CANCEL *)
            BEGIN
                CHARTYPE(10); MOVE(7);
                FOR A:=A DOWNT0 1 DO
                    BEGIN
                        WCHAR(CHR(32)); MOVE(14);
                    END;
                TURNT0(0); MOVE(7); TURNT0(180);
                A:=1; IMAGE:=''; CHARTYPE(9); WCHAR(CHR(32));
            END;
        IF (ORD(CH)=8) AND (A>1) THEN (* ASCII BACK SPACE *)
            BEGIN
                MOVE(7); WCHAR(CHR(32));
                A:=A-1; MOVE(14);
                IF A=1 THEN BEGIN CHARTYPE(9); WCHAR(CHR(32)); END;
            END;
    UNTIL EOLN(KEYBOARD);
END;

```

BEGIN

```
VIEWPORT(0,279,0,Y0-5); FILLSCREEN(BLACK);
PENCOLOR(NONE); MOVETO(0,Y0-5); PENCOLOR(WHITE); MOVETO(279,Y0-5);
MOVETO(279,0); MOVETO(0,0); MOVETO(0,Y0-5); PENCOLOR(NONE); CHARTYPE(10);
MOVETO(3,14); MINUS('NTRE NOME IMAGE FILE: '); ST:=CONCAT('E',ST);
WSTRING(ST); RSTRING; CH:=CHR(32);
IMAGE:=COPY(IMAGE,1,LENGTH(IMAGE)-1); MATINP:=CONCAT(IMAGE,'.IMAGE');
IF (IMAGE[1]='#') THEN DELETE(IMAGE,1,3); RESET(MAT,MATINP);
IF NOT(IDRESULT=0) THEN
```

 BEGIN

```
    MINUS('ERROR'); ST:=CONCAT('I/O ',ST,' ');
    MOVETO(3,3); WSTRING(ST); CH:=CHR(27);
    FOR I:=1 TO 2000 DO; EXIT(INITIALIZE);
```

 END;

```
NC:=MAT^[0]+1; GET(MAT);
```

```
MINUS('ARREGANDO IMAGE FILE... '); ST:=CONCAT('C',ST);
```

```
MOVETO(3,3); WSTRING(ST);
```

```
E:=W/NC; NR:=0; MAX:=0;
```

```
WHILE NOT EOF(MAT) DO
```

 BEGIN

```
    GET(MAT);
```

```
    FOR I:=0 TO (NC-1) DO
```

 BEGIN

```
        IF (MAT^[I]>MAX) THEN MAX:=MAT^[I];
```

```
        PS[ NR, I ]:=MAT^[I];
```

 END;

```
    NR:=NR+1;
```

 END;

```
CLOSE(MAT,NORMAL);
```

END;

SEGMENT PROCEDURE DRAWIMAGE;

 PROCEDURE HEADINGS;

 VAR LIP,LAP,LOP:STRING;

 CIP:INTEGER;

 BEGIN

```
    VIEWPORT(0,279,0,Y0-5); FILLSCREEN(BLACK);
```

```
    PENCOLOR(NONE); MOVETO(0,Y0-5); PENCOLOR(WHITE); MOVETO(279,Y0-5);
```

```
    MOVETO(279,0); MOVETO(0,0); MOVETO(0,Y0-5); PENCOLOR(NONE); CHARTYPE(10)
```

```
    MOVETO(3,14); WCHAR('I'); MINUS('MAGEM: '); WSTRING(ST);
```

```
    IMAGE:=CONCAT(IMAGE,' '); DELETE(IMAGE,8,LENGTH(IMAGE)-7);
```

```
    WSTRING(IMAGE); WSTRING(' R'); MINUS('ES.: '); WSTRING(ST); STR(NC,LIP)
```

```
    STR(NR,LAP); LAP:=CONCAT(' ',LAP); CIP:=NC*NR; STR(CIP,LOP); MINUS('PIX'
```

```
    LAP[1]:=CHR(21); LIP:=CONCAT('(' ,LIP,LAP,') ',LOP,' ',ST);
```

```
    WSTRING(LIP); MOVETO(3,3); WCHAR('I'); MINUS('NTENSIDADE: MAX = ');
```

```
    WSTRING(ST); STR(MAX,LIP); WSTRING(LIP); WSTRING(' ');
```

```
    XP:=TURTLEX; YP:=TURTLEY;
```

 END;

BEGIN

```
  IF (ORD(CH)=27) THEN EXIT(DRAWIMAGE);
```

```
  HEADINGS; VIEWPORT(0,W+2,Y0-1,YMAX); FILLSCREEN(BLACK); RANDOMIZE;
```

```
  PENCOLOR(NONE); MOVETO(0,Y0-1); PENCOLOR(WHITE); MOVETO(W+2,Y0-1);
```

```
  MOVETO(W+2,YMAX); MOVETO(0,YMAX); MOVETO(0,Y0-1); BUF:=MAX/32767;
```

```
  FOR Y:=Y0 TO (YMAX-1) DO
```

```

BEGIN
  IF KEYPRESS THEN
    BEGIN
      READ(KEYBOARD,CH);
      IF (ORD(CH)=27) THEN EXIT(DRAWIMAGE);
    END;
    J:=TRUNC((Y-Y0)/E);
    FOR X:=W DOWNT0 1 DO
      BEGIN
        I:=TRUNC(NC-X/E); TSH:=BUF*RANDOM;
        RIGA[1,X]:=NOT(PS[J,I]<TSH);
        RIGA[0,X]:=RIGA[1,X];
      END;
      DRAWBLOCK(RIGA,21,0,0,161,1,1,Y,10);
    END;
  END;
END;

SEGMENT PROCEDURE CURSMANAGE;
VAR POK:STRING[20];
    XC,YC,XF,YF,XI,YI:INTEGER;
    CURSOR:BOOLEAN;

PROCEDURE DRAWCURSOR;
BEGIN
  PENCOLOR(NONE); MOVETO(XC-5,YC); PENCOLOR(REVERSE);
  MOVETO(XC,YC-5); MOVETO(XC+5,YC); MOVETO(XC,YC+5); MOVETO(XC-5,YC);
END;

PROCEDURE DRAWARROW;
BEGIN
  PENCOLOR(NONE); MOVETO(XF,YF); CHARTYPE(6);
  WCHAR('^'); TURNT0(180); MOVE(2); WCHAR(CHR(9));
END;

PROCEDURE DRAWPOS;
BEGIN
  STR(PS[J,I],POK); PENCOLOR(NONE); MOVETO(XI,YI); CHARTYPE(10);
  WSTRING(' '); MOVETO(XI,YI); WSTRING(POK);
END;

PROCEDURE FINDJIA;
BEGIN
  I:=TRUNC(NC-XC/E); J:=TRUNC((YC-Y0)/E);
  XF:=W+16; YF:=TRUNC(Y0+101-PS[J,I]/MAX*101);
END;

BEGIN
  PENCOLOR(NONE); MOVETO(XP,YP); CHARTYPE(10); MINUS('POS = ');
  WSTRING(ST); XI:=TURTLEX; YI:=TURTLEY;
  XC:=W DIV 2; YC:=Y0+XC; FINDJIA; CH:=CHR(32);
  DRAWCURSOR; DRAWARROW; DRAWPOS; CURSOR:=TRUE;
  REPEAT
    DRAWCURSOR; DRAWARROW; CURSOR:=NOT CURSOR;
  FOR I:=1 TO 100 DO;
    IF KEYPRESS THEN

```

```

BEGIN
  READ(KEYBOARD,CH);
  IF CURSOR THEN BEGIN DRAWCURSOR; DRAWARROW; CURSOR:=FALSE; END;
  CASE CH OF
    'I': IF NOT ((YC+7)>(YMAX-1)) THEN YC:=YC+2;
    'J': IF NOT ((XC-7)<1) THEN XC:=XC-2;
    'K': IF NOT ((XC+7)>(W+1)) THEN XC:=XC+2;
    'M': IF NOT ((YC-7)<YD) THEN YC:=YC-2;
    'P': IF NOT ((YC+14)>(YMAX-1)) THEN YC:=YC+9;
    '@': IF NOT ((YC+14)>(YMAX-1)) THEN YC:=YC+9;
    'L': IF NOT ((XC-14)<1) THEN XC:=XC-9;
    ';': IF NOT ((XC+14)>(W+1)) THEN XC:=XC+9;
    '+': IF NOT ((XC+14)>(W+1)) THEN XC:=XC+9;
    '.': IF NOT ((YC-14)<YD) THEN YC:=YC-9;
    '>': IF NOT ((YC-14)<YD) THEN YC:=YC-9;
  END;
  FINDJIA; DRAWPOS;
END;
UNTIL (ORD(CH)=27);
PENCOLOR(NONE); MOVETO(XP,YP); CHARTYPE(10); WSTRING(' ');
END;

PROCEDURE MINUS;
VAR DH,Q:INTEGER;
BEGIN
  FOR Q:=1 TO LENGTH(TS) DO
    BEGIN
      DH:=ORD(TS[Q]);
      IF (DH>64) THEN TS[Q]:=CHR(DH+32);
    END;
  ST:=TS;
END;

BEGIN (* MAIN MTACSEC *)
  INITTURTLE; FILLSCREEN(ORANGE); YD:=YMAX-W;
  REPEAT
    INITIALIZE;
  UNTIL NOT(ORD(CH)=27);
  BACKGROUND;
  DRAWIMAGE;
  WRITE(CHR(7)); VIEWPORT(0,279,0,191);
  REPEAT
    PH:=CHR(32); PENCOLOR(NONE); MOVETO(270,3);
    CHARTYPE(6); WCHAR(CHR(13));
    FOR I:=1 TO 300 DO;
      IF KEYPRESS THEN
        BEGIN
          READ(KEYBOARD,PH); CHARTYPE(0);
          MOVETO(270,3); WCHAR(CHR(13));
          CASE PH OF
            'S': PH:=CHR(27);
            'A': BEGIN INITIALIZE; DRAWIMAGE; END;
            'C': CURSMANAGE;
          END;
          WRITE(CHR(7)); VIEWPORT(0,279,0,191);
        END;
    UNTIL (ORD(PH)=27);
    WRITE(CHR(7)); TEXTMODE; WRITE(CHR(12));
    GOTOXY(0,16); WRITELN('FIM DE PROCESSAMENTO. ');
  END.

```


CAPÍTULO V

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

5.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados experimentais do presente trabalho.

Desta forma apresentamos resultados referentes às interligações dos subsistemas, analisados no capítulo III e dados referentes ao desempenho, e calibração do detector e da cadeia nuclear, cálculo da espessura do feixe de fótons e formas operacionais do software apresentado e analisado no capítulo IV.

São ainda apresentados os resultados referentes à análise dos efeitos de flutuações estatísticas na qualidade da reconstrução de uma imagem, estudos de resolução espacial e resultados de tomografias experimentais com o equipamento desenvolvido e com o tomógrafo médico modelo GEGT/T8800 do hospital de Trieste, Itália ("Ospedale Catinara"), para uma avaliação comparativa e, alguns resultados que mostram a viabilidade do uso do instrumento em campos multidisciplinares.

5.2 - INTERLIGAÇÕES DOS SUBSISTEMAS, CALIBRAÇÃO DO DETECTOR E DA CADEIA NUCLEAR

5.2.1 - INTERLIGAÇÃO E FIAÇÃO DOS SUBSISTEMAS ANALISADOS NOS ITENS (3.2.2), (3.2.3), (3.2.4), (3.2.5), (3.2.6), (3.2.9) E (3.2.11)

A Figura (5.1) ilustra o primeiro diagrama esquemático das interligações e fiação dos subsistemas analisados nos itens (3.2.2), (3.2.3), (3.2.4), (3.2.5), (3.2.6), (3.2.9) e (3.2.11).

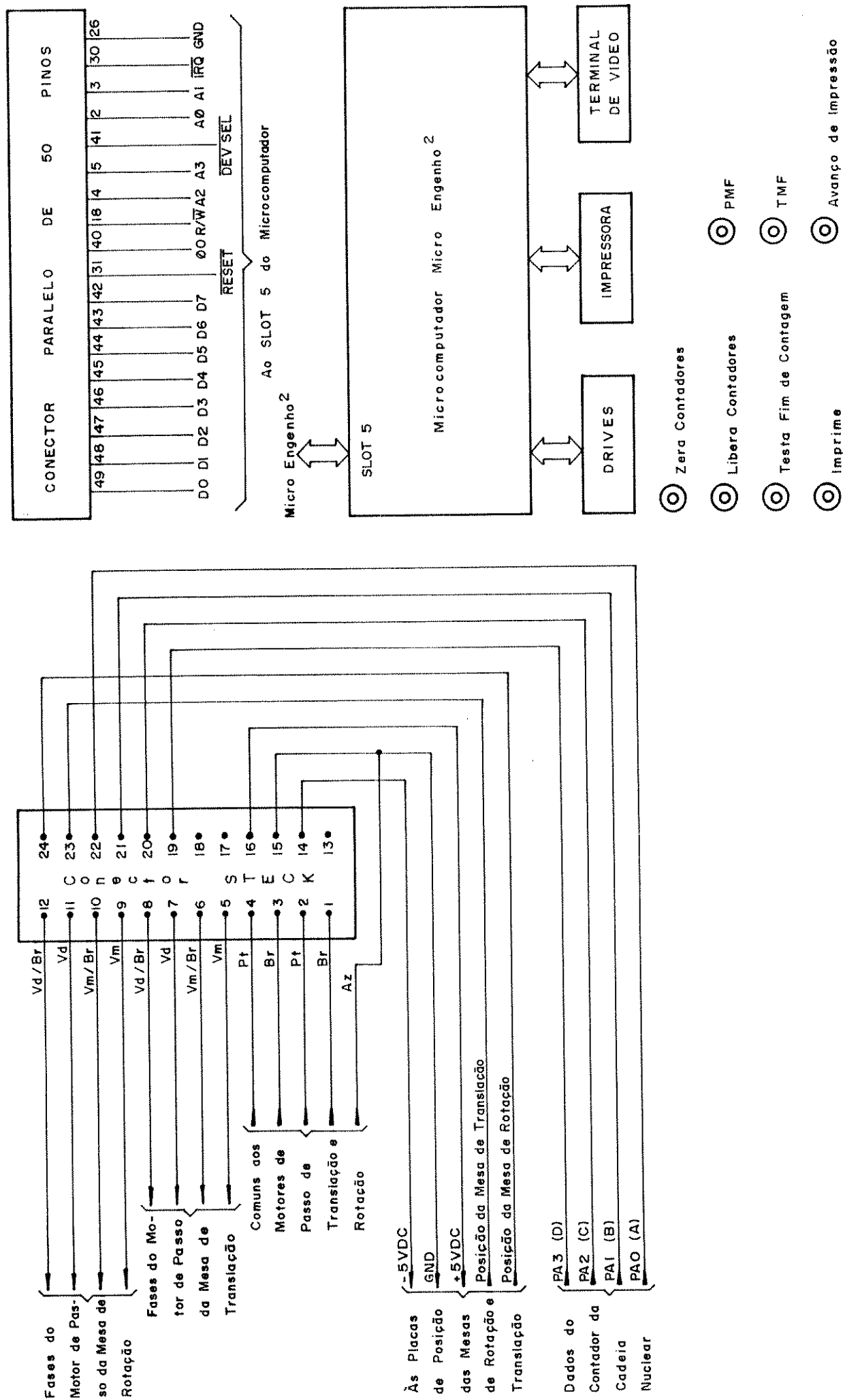


Figura (5.1) - Primeiro Diagrama Esquemático de Interligações e Fiação

5.2.2 - INTERLIGAÇÃO E FIAÇÃO DOS SUBSISTEMAS ANALISADOS NOS
ITENS (3.2.15), (3.2.16), (3.2.17), (3.2.18) E
(3.2.19)

A Figura (5.2) ilustra o segundo diagrama esquemático das interligações e fiação feitas com cabo coaxial (com conectores BNC) e cabo paralelo, dos subsistemas analisados nos itens (3.2.15), (3.2.16), (3.2.17), (3.2.18) e (3.2.19).

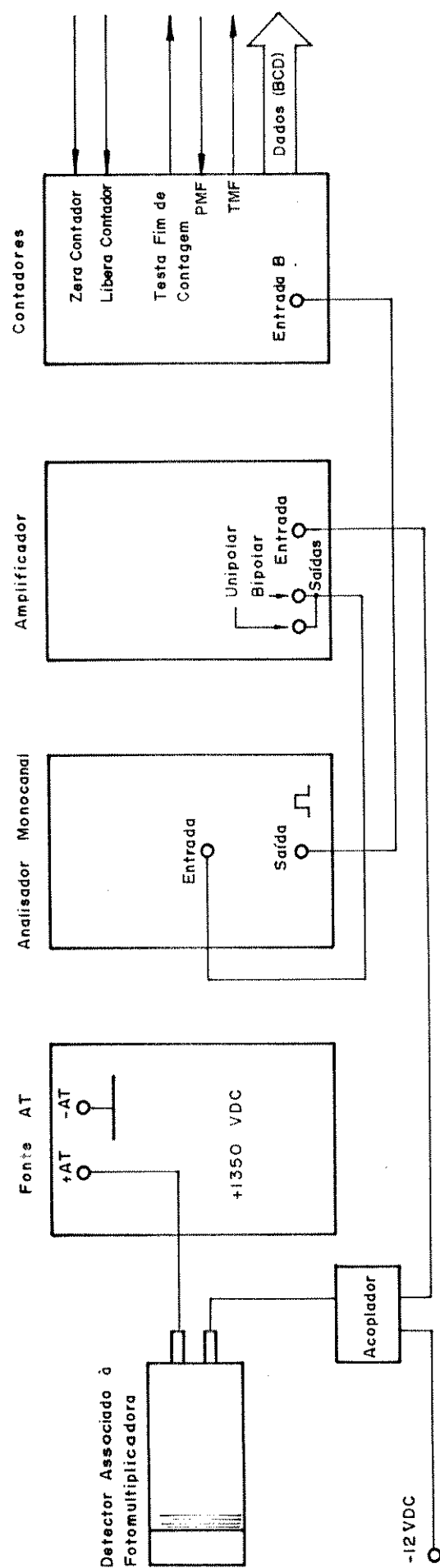


Figura (5.2) - Segundo Diagrama Esquemático de Interligações e Fiação

5.2.3 - CALIBRAÇÃO DO DETECTOR E AJUSTES DA CADEIA NUCLEAR

Para definir o ponto ideal de operação do detector, busca-se em um tempo de contagem pré-definido, o número de fótons contados ao variar a alta tensão de alimentação.

A Figura (5.3) ilustra a curva de patamar do Detector de NaI(Tl) com contagens entre 10.000 a 20.000 fótons para um tempo de contagem de 10 segundos e variação da alta tensão de alimentação na faixa de 1.000 a 1.500 Volts.

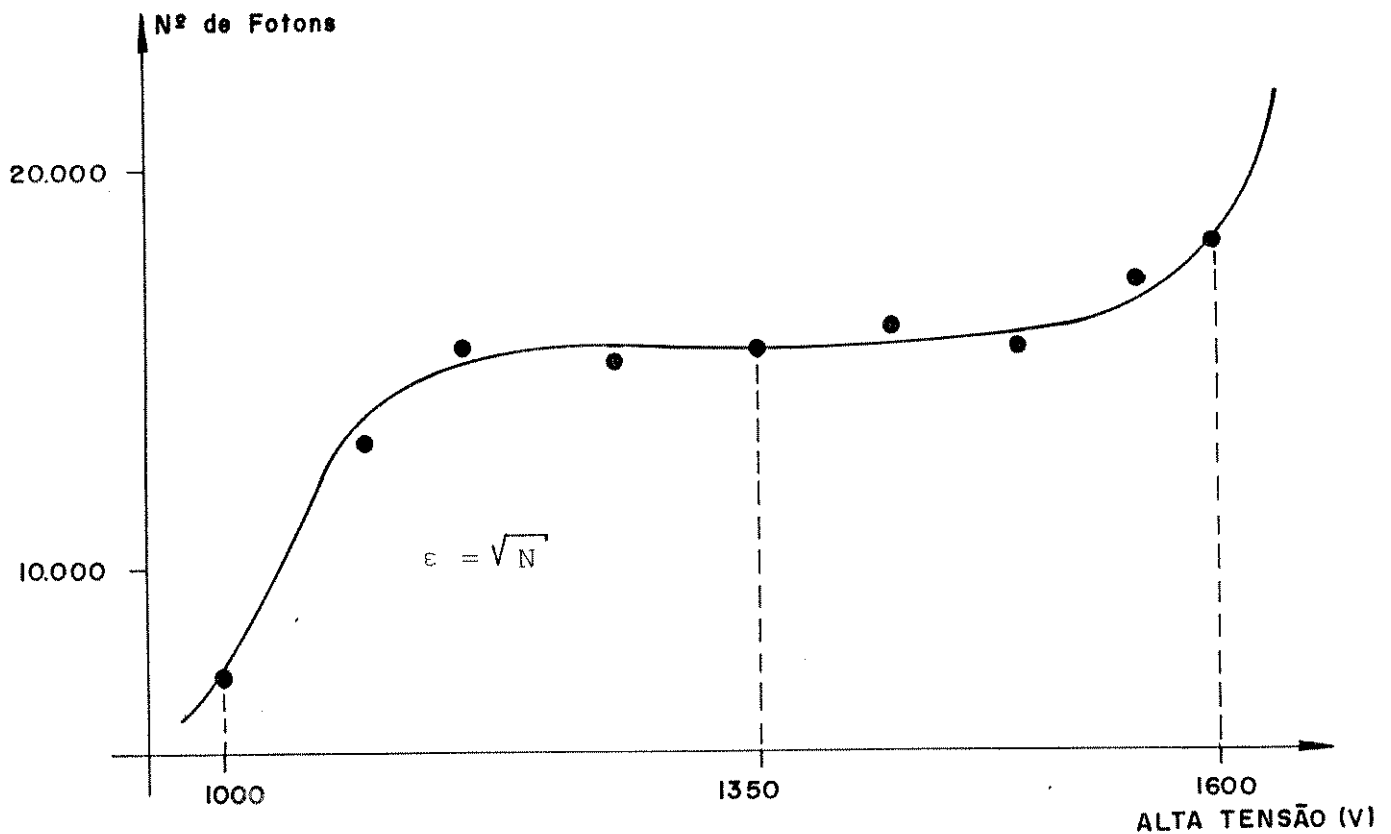


Figura (5.3) - Patamar do Detector de NaI(Tl)

Para calibração do analisador monocanal, deve-se definir os níveis E e ΔE os quais devem definir o espectro de energia da fonte de radiação em uso.

Para uma energia considerada a calibração deve ser feita da seguinte forma:

- a) leva-se os potenciômetros de ajustes dos níveis E e ΔE para a marcação 000.
- b) ajusta-se o potenciômetro do nível E (em função da energia em uso) e a unidade deve estar operando no modo integral.
- c) observa-se no contador o ganho do amplificador o qual deve ser reduzido lentamente até que o ponto em que a taxa média de pulsos indicada pelo contador caia bruscamente e, reajusta-se o ganho do amplificador (deve ser tal a manter uma boa relação sinal/ruído).
- d) para definir a janela ΔE coloca-se o monocanal no modo diferencial e uma vez conhecido o fundo de escala⁽⁴⁴⁾, pode-se discriminar regiões de interesse.

5.2.4 - DISPOSIÇÃO FINAL DO MINITOMÓGRAFO DE RAIOS-X E RAIOS-GAMA

A Figura (5.4) ilustra a disposição final das mesas de rotação e translação que compõem a mesa tomográfica, o sistema fonte-detector (com a fonte de raios- γ), colimadores, detalhes da fixação, motores de passo e placas de controle de posição das mesas de rotação e translação.

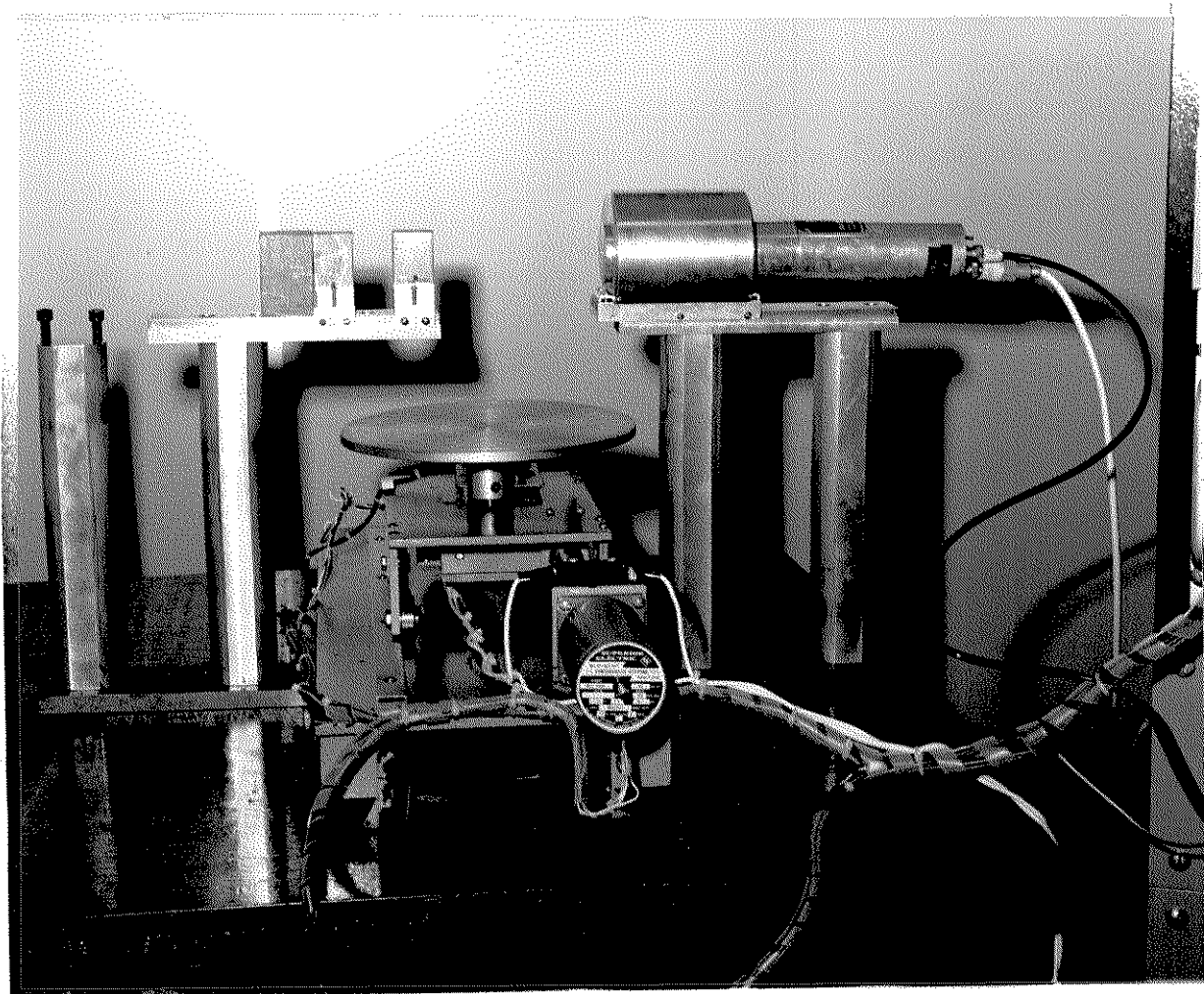


Figura (5.4) - Disposição Final da Mesa Tomográfica

A Figura (5.5) ilustra a disposição final da interface, cadeia nuclear, quadro de alimentação, microcomputador, drives, monitor de vídeo e impressora gráfica após terem sido acoplados.

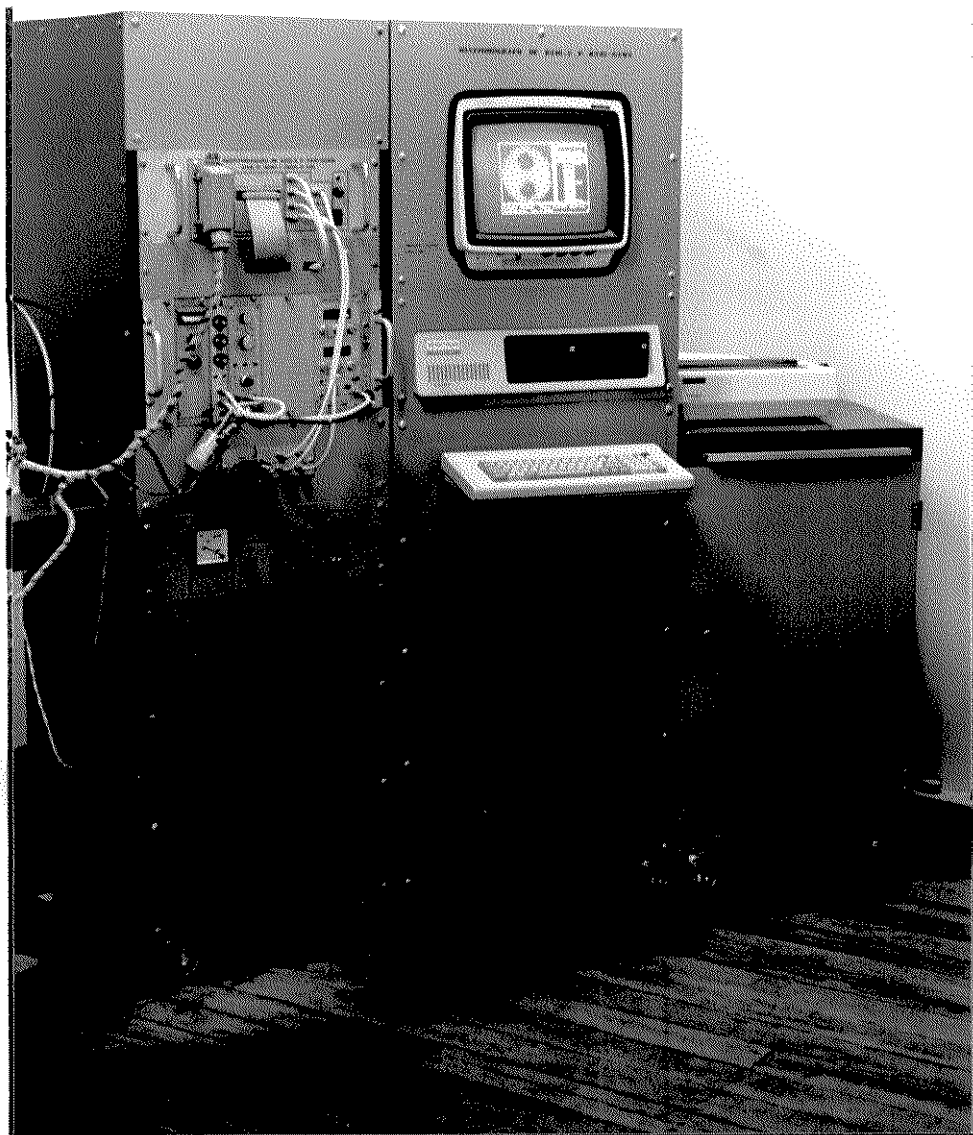


Figura (5.5) - Disposição final dos subsistemas de controle e aquisição de dados e subsistemas de processamento

5.3 - DETERMINAÇÃO DO PERFIL DO FEIXE DE FÓTONS E CÁLCULO DAS DENSIDADES DE FÓTONS AO LONGO DOS PASSOS DE TRANSLAÇÃO

5.3.1 - CÁLCULO DA ESPESSURA DO FEIXE DE FÓTONS

A espessura do feixe de fótons é a principal responsável pelo contraste sobre a resolução espacial⁽⁴⁵⁾.

Desta forma, elaboramos um experimento para determinar o perfil do feixe de fótons ao longo do caminho fonte-detector. Foi utilizado como elemento absorvedor uma chapa de ferro ($\mu_F = 9,20\text{cm}^{-1}$ na energia de 60 KeV^(46, 47)) de dimensões 4 x 20 x 20mm. Estabeleceu-se um tempo de contagem para o contador da cadeia nuclear de 10 segundos, bem como translação completa de 16mm com passos de 0,2mm.

A Figura (5.6) ilustra a disposição fonte-anteparo-detector, pré-estabelecida.

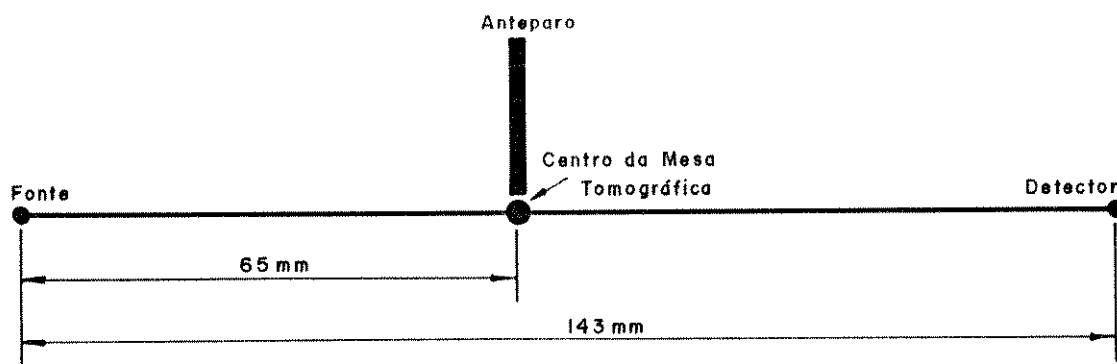


Figura (5.6) - Disposição Fonte-Anteparo-Detector

Assim, obteve-se os resultados apresentados na ta bela 5.1, os quais foram posteriormente graficados, conforme ilustra a Figura (5.7).

Distância(mm)	Contagem	Distância(mm)	Contagem
0,0	19586	8,2	8996
0,2	19584	8,4	7865
0,4	19508	8,6	7431
0,6	19406	8,8	6576
0,8	19312	9,0	5712
1,0	19503	9,2	5115
1,2	19612	9,4	4341
1,4	19344	9,6	3796
1,6	19455	9,8	3190
1,8	19257	10,0	2720
2,0	19385	10,2	2270
2,2	19447	10,4	1860
2,4	19566	10,6	1400
2,6	19579	10,8	1110
2,8	19469	11,0	861
3,0	19480	11,2	619
3,2	19465	11,4	527
3,4	19720	11,6	368
3,6	19516	11,8	317
3,8	19405	12,0	217
4,0	19598	12,2	185
4,2	19479	12,4	138
4,4	19376	12,6	113
4,6	19350	12,8	135
4,8	19150	13,0	129
5,0	19129	13,2	131
5,2	18882	13,4	105
5,4	18810	13,6	125
5,6	18423	13,8	105
5,8	17720	14,0	107
6,0	17518	14,2	96
6,2	16935	14,4	102
6,4	16221	14,6	113
6,8	14723	14,8	111
7,0	13153	15,0	103
7,2	12283	15,2	95
7,4	11130	15,4	106
7,6	10649	15,6	108
7,8	10359	15,8	107
8,0	9949	16,0	104

Tabela 5.1 - Valores Distância(mm) versus Contagem (número de fótons)

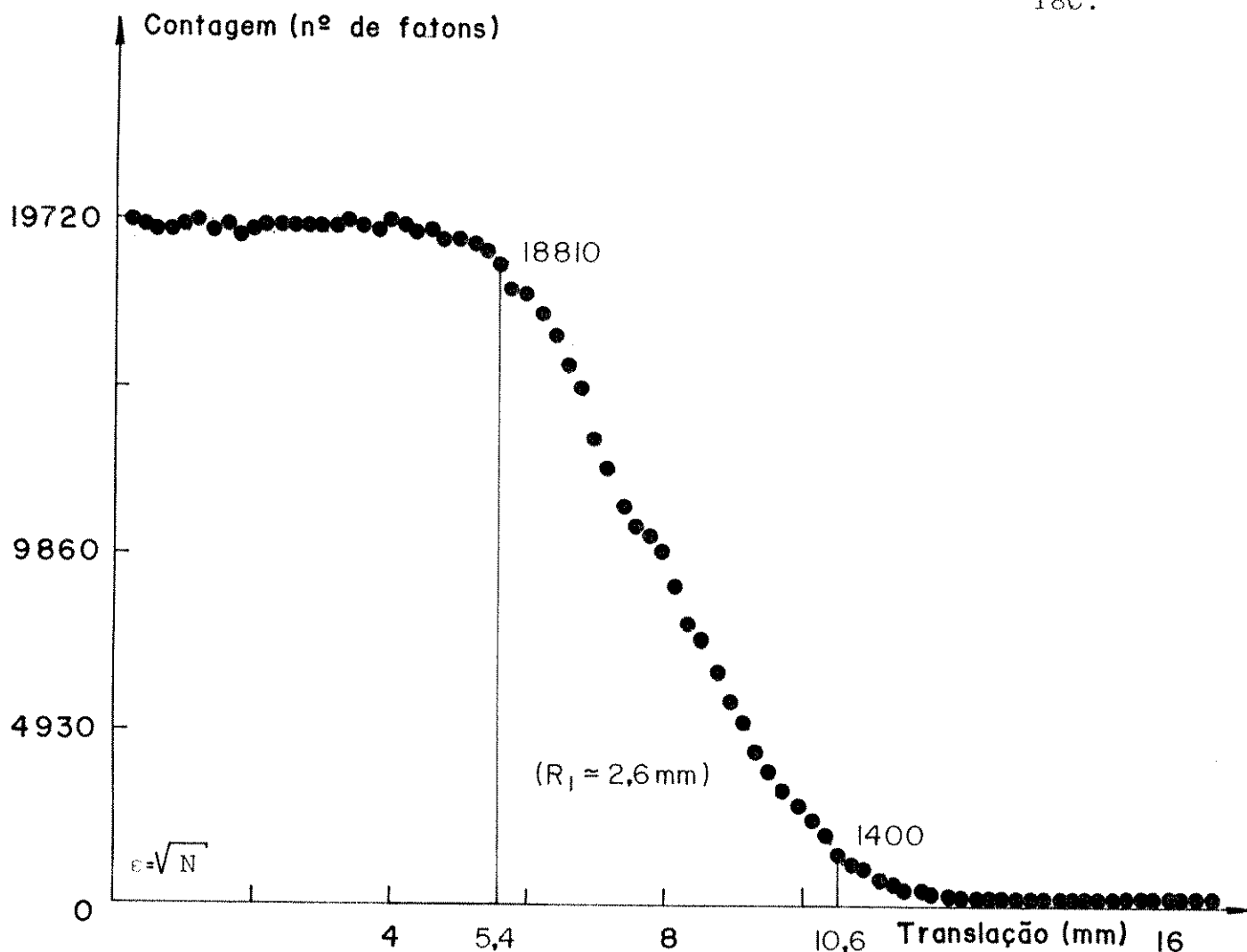


Figura (5.7) - Determinação do raio do feixe de fótons a uma distância de 65mm da fonte e colimador com janela de 2mm

Com os pontos obtidos, pode-se determinar o diâmetro do feixe à distância de 65mm da fonte, ou seja $D_1 = 5,2\text{mm}$.

Conseqüentemente, pode-se agora definir a divergência do feixe e a partir daí estabelecer uma equação matemática que possibilite, com os parâmetros conhecidos, determinar a espessura do feixe ao longo do percurso fonte-detector.

Assim, considerando o raio determinado, $R_1 = 2,6\text{mm}$, a uma distância de 65mm da fonte, podemos definir a divergência do feixe, ou seja $\theta_d = 0,0399$ radianos e, a espessura do feixe, isto é o raio, pode ser determinada pela equação (V-1), isto é:

$$R = \frac{d}{25} \quad (V-1)$$

onde R é o raio do feixe de fótons a uma distância d da Fonte considerada.

A Figura (5.8) ilustra o perfil do feixe de fótons ao longo d percurso fonte-detector com os respectivos raios em três pontos considerados.

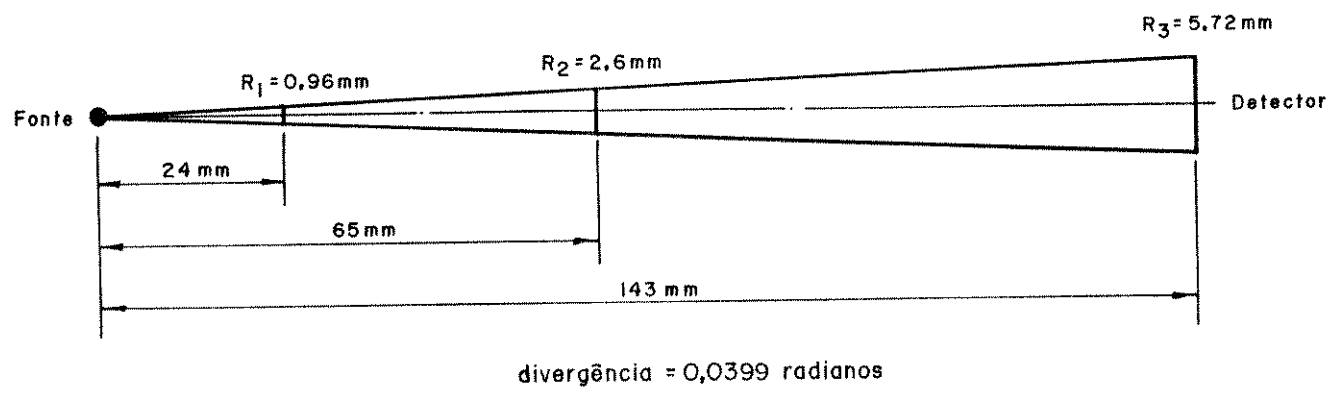


Figura (5.8) - Perfil do feixe ao longo do percurso Fonte-Detector com colimador de 2mm

5.3.2 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE FÓTONS

A densidade de fótons ao longo dos passos de translação pode ser calculada a partir da determinação dos incrementos de áreas $A_n(x)$, conforme ilustra a Figura (5.9).

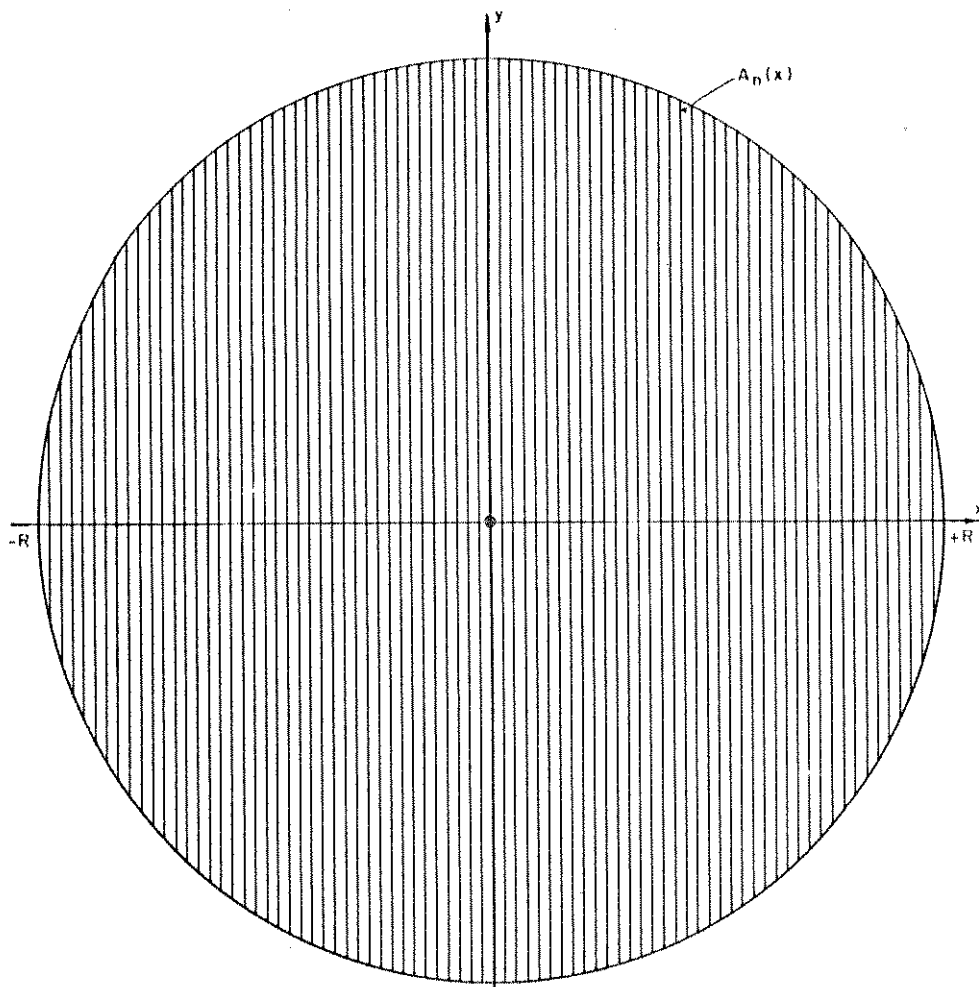


Figura (5.9) - Vista frontal do feixe de fótons e áreas $A_n(x)$

As áreas $A_n(x)$ podem ser calculadas, a partir da Figura (5.9), pela equação (V-2), isto é:

$$A_n(x) = 2 \int_{-R}^x (R^2 - x^2)^{\frac{1}{2}} dx \quad (V-2)$$

onde , resolvendo-se para um x genérico, resulta:

$$A_n(x) = x (R^2 - x^2) + R^2 \left\{ \frac{\pi}{2} + \arcsen \left(\frac{x}{R} \right) \right\} \quad (V-3)$$

Desta forma, conhecendo-se o raio do feixe de fótons pela expressão (V-1) pode-se determinar as áreas $A_n(x)$, pela expressão (V-3).

Levando-se em consideração o resultado anteriormente obtido para o raio do feixe de fótons à uma distância de 65mm da fonte, isto é, $R_2 = 2,6\text{mm}$ teremos:

$$A_n(x) = x(6,76 - x^2)^{\frac{1}{2}} + 6,76\left\{-\frac{\pi}{2} + \arcsin\left(\frac{x}{2,60}\right)\right\} \quad (\text{V-4})$$

para $-2,6 \leq x \leq +2,6$

Assim, pode-se calcular a densidade de fótons $k.A_n(x)$ a partir da coordenada $-2,6\text{mm}$. A constante K representa um fator de proporcionalidade dado pela expressão (V-5), isto é:

$$k = \frac{\hat{N}}{A_{\text{total}}} \quad (\text{V-5})$$

onde $\hat{N}$ é o valor médio das medidas feitas em contagem livre.

A tabela 5.2 ilustra os valores calculados das densidades de fótons ao longo dos passos de translação, onde $k = 913,78\text{mm}^{-2}$.

$x(\text{mm})$	$A_n(x) \text{ (mm}^2\text{)}$	$kA_n(x)$
-2,6	$\emptyset$	$\emptyset$
-2,4	$\emptyset,263$	24 $\emptyset,69$
-2,2	$\emptyset,745$	681,49
-2, $\emptyset$	1,357	124 $\emptyset,66$
-1,8	2, $\emptyset66$	1888,64
-1,6	2,853	16 $\emptyset7,15$
-1,4	3,7 $\emptyset2$	3382,94
-1,2	4,6 $\emptyset2$	41 $\emptyset5,59$
-1, $\emptyset$	5,544	5 $\emptyset66,37$
- $\emptyset,8$	6,519	5957,66
- $\emptyset,6$	7,521	6872,64
- $\emptyset,4$	8,541	78 $\emptyset4,99$
- $\emptyset,2$	9,574	8748,73
$\emptyset,\emptyset$	1 $\emptyset,613$	9698,12
$\emptyset,2$	11,652	1 $\emptyset647,52$
$\emptyset,4$	12,684	11591,26
$\emptyset,6$	13,7 $\emptyset5$	12523,61
$\emptyset,8$	14,7 $\emptyset6$	13438,49
1, $\emptyset$	15,681	14329,88
1,2	16,623	1519 $\emptyset,66$
1,4	17,524	16 $\emptyset13,31$
1,6	18,373	16789,11
1,8	19,159	175 $\emptyset7,61$
2, $\emptyset$	19,868	18155,51
2,2	2 $\emptyset,48\emptyset$	18714,76
2,4	2 $\emptyset,962$	19155,56
2,6	21,237	194 $\emptyset6,\emptyset9$

Tabela 5.2 - Valores calculados das densidades de fótons
ao longo dos passos de translação

5.4 - DESEMPENHO DO SOFTWARE E FORMAS OPERACIONAIS

Mostraremos agora, as principais características do desempenho dos programas computacionais apresentados no capítulo IV, os quais integram-se ao hardware desenvolvido, e, as formas operacionais.

Para a inicialização do sistema, deve-se colocar no driver 1 o disco flexível com o software "UCSD Pascal System" e no driver 2 o disco flexível com o software "MTAC", o qual é composto pelos programas MTACCON, MTACREC e MTACSEC.

Assim, uma vez ligado o quadro de interruptores com a chave geral, procedemos o chaveamento secundário conforme a seqüência abaixo apresentada isto é,

- 1 - interruptor CADEIA NUCLEAR
- 2 - interruptor INTERFACE
- 3 - interruptor MICROCOMPUTADOR

com isto, o microcomputador é automaticamente carregado com o software UCSD Pascal e é apresentado no monitor de vídeo

Commad: E(DIT,R(ON,F(ILE,C(OMP,L(INK,X(ECOTE,A(SSEM,D(EBUG,[II-1] ... (C-1)

Antes porém de iniciar-se o controle do processo e a aquisição de dados propriamente dito, deve-se verificar a disponibilidade de espaço no disco flexível presente no driver 1, uma vez que é ele utilizado para armazenar os arquivos ou "Files" NOME.DATA, dos dados a serem coletados e NOME.IMAGEM, dos dados posteriormente filtrados e retroprojetados.

Assim, digita-se <F> e tem-se os seguintes comandos disponíveis, apresentados no monitor de vídeo

Filer: G,S,N,L,R,C,T,D,Q[C2] ...

(C-II)

Para listar-se os arquivos ou programas digita-se <L> e tem-se no monitor de vídeo a mensagem:

DIR LISTING OF?

responde-se digitando:

<#>

<4>

<:>

<RETURN>

assim, tem-se em seguida a listagem, no monitor de vídeo do conteúdo, em programas ou arquivos, armazenado no disco flexível do driver 1 e, uma vez verificado se há arquivos NOME.DATA e NOME.IMAGE remanescentes de tomografias anteriores, deve-se removê-los.

Para a remoção dos arquivos NOME.DATA e NOME.IMAGE, digita-se <R> e tem-se no monitor de vídeo a mensagem:

REMOVE?

responde-se digitando:

<#>

<4>

<:>

<NOME.DATA> ou <NOME.IMAGE>

<RETURN>

logo em seguida, tem-se a mensagem no monitor de vídeo:

UPDATE DIRECTORY?

responde-se digitando:

<Y>

e, uma vez feita a remoção de possíveis arquivos remanescentes, volta-se à linha dos comandos iniciais (C-I) digitando <Q>, deixando assim o sistema pronto para operação, o que deve ser feito com a seqüência dos programas MTACCON, MTACREC e MTACSEC.

Por outro lado, pode-se ter um ou mais discos flexíveis exclusivos para armazenamento de arquivos NOME.DATA e NOME.IMAGE devendo-se porém inicialmente formatá-los, o que pode ser feito utilizando-se o programa FORMATTER do UCSD Pascal System.

5.4.1 - DESEMPENHO E FORMA OPERACIONAL DO PROGRAMA MTACCON

Uma vez tendo sido realizadas as etapas desc^{ri}tas anteriormente, pode-se inicializar o controle geral e a aquisição de dados digitando <X> e desta forma, tem-se no moni^{tor} de vídeo a mensagem:

EXECUTE WHAT FILE?

responde-se digitando

<#>

<5>

<:>

<MTACCON>

<RETURN>

a ssim, todos os subsistemas são interligados e tem-se no moni^{tor} de vídeo a mensagem:

```

-----
-                                     -
-MINITOMOGRFO DE RAI0-X E RAI0-GAMA -
-EMBRAPA-UAPDIA,SAO CARLOS-SP      -
-                                     -
-----

```

seguida da solicitação das variáveis de entrada, isto é:

ENTRE COM A TRANSLACAO COMPLETA EM MILIMETRO(S) TC=
 ENTRE COM O PASSO LINEAR EM MILIMETRO(S) PL=
 ENTRE COM A ROTACAO COMPLETA EM GRAU(S) RC=
 ENTRE COM O PASSO ANGULAR EM GRAU(S) PA=
 ENTRE COM A ENERGIA EM KeV(S) EN=

As solicitações das variáveis de entrada devem ser respondidas com a entrada dos dados seguidos pela digitação de <RETURN>.

Uma vez entrado os dados solicitados, a mesa tomográfica é automaticamente preparada com relação à colimação mecânica e a busca das coordenadas iniciais das posições das mesas de rotação e translação.

Durante esta preparação da mesa tomográfica tem-se a seguinte mensagem no monitor de vídeo:

```

-----
-                                     -
-AS MESAS DE ROTACAO E TRANSLACAO ESTAO-
-SENDO COLOCADAS NA POSICAO INICIAL  -
-                                     -
-----

```

Assim, terminada esta fase, a amostra estará devidamente localizada conforme ilustra a Figura (5.10).

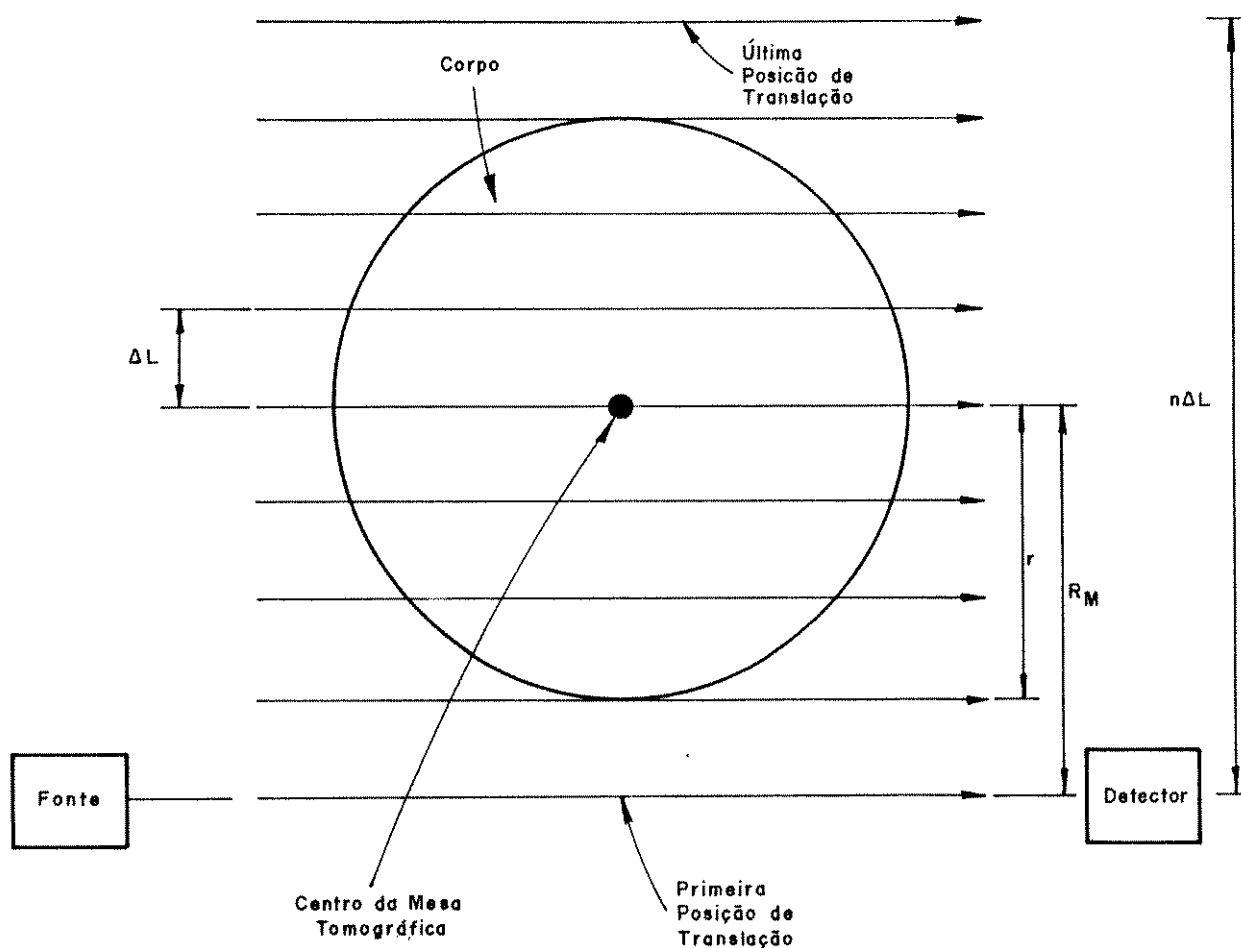


Figura (5.10) - Vista de topo do posicionamento do corpo na mesa tomográfica onde ΔL é o passo de translação, e R_M tem valor $n \frac{\Delta L}{2}$.

O dimensionamento da translação completa deve ser feito levando-se em conta a possibilidade de se obter, pelo menos, duas medidas externas ao corpo se, evidentemente, for de interesse toda a sua dimensão no momento da reconstrução da imagem.

Em seguida, os contadores da cadeia nuclear são zerados e habilitados a contar isto é, o contador A atua como temporizador monoestável com tempo pré-ajustado e controla o contador B o qual atua como contador do número de fótons que chega ao detector.

Durante esta fase, tem-se a seguinte mensagem no monitor de vídeo:

```

-----
-                                     -
-ESTA SENDO FEITA A CONTAGEM-
-                                     -
-----

```

Assim, terminada a fase de contagem, tem-se a fase de aquisição na qual é processado a aquisição do dado presente no contador B, o qual representa um dos pontos de uma projeção de ângulo θ . Durante esta fase tem-se a seguinte mensagem no monitor de vídeo:

```

-----
-                                     -
-ESTA SENDO FEITA A AQUISICAO DE DADOS-
-                                     -
-----

```

e, após ter sido feita a aquisição, o dado e os índices KI e KJ que o posicionam na matriz de dados, são apresentados no monitor de vídeo, isto é:

KI=..., KJ=... ---> ...

os índices KI e KJ representam respectivamente o presente vetor rotação e a presente posição do vetor translação e possibilitam a verificação do ponto em que se encontra o processo.

Desta forma, terminada a fase de aquisição do dado referente a um dos pontos de uma projeção de ângulo θ , a mesa de translação é deslocada de ΔL (passo de translação), para a nova posição, e o processo é repetido com as fases anteriores até que o vetor translação seja completado.

Uma vez completado o vetor translação, a mesa de translação é levada novamente à posição inicial.

Terminada a fase de reposicionamento da mesa de translação, a mesa de rotação é incrementada de ângulo $\Delta\theta$ (passo de rotação) e o processo com as fases anteriores é auto iniciado até que todo o deslocamento angular da mesa de rotação seja completado.

Uma vez terminada toda a aquisição de dados é solicitado o nome a ser dado ao arquivo NOME.DATA, constituído pelos pontos das projeções de ângulo θ , o qual será posteriormente armazenado no disco flexível.

Assim tem-se a seguinte mensagem no monitor de vídeo, isto é:

ENTRE NOME DO ARQUIVO: ...

Para a entrada do nome do arquivo digita-se <NOME> seguido da tecla <RETURN>. Posteriormente à entrada do nome do arquivo, os dados inicialmente armazenados na memória RAM do microcomputador são preparados e transferidos para o disco flexível presente no Drive 1 ou Drive 2, digitando-se:

<#>

<5>

<:>

<NOME>

<RETURN>

Durante esta fase de armazenamento no disco flexível tem-se a seguinte mensagem no monitor de vídeo, isto é:

COLOCANDO DADOS NO DISCO ...

Terminada a fase de armazenamento do arquivo NOME.DATA em disco flexível, a cadeia nuclear bem como as placas dos circuitos de controle são eletronicamente desacopladas do microcomputador, a mensagem final do programa MTACCON é enviada ao monitor de vídeo, isto é:

```
ESTA COMPLETA A AQUISICAO  
DE DADOS, USE O SOFTWARE DE  
RECONSTRUCAO ---> MTACREC
```

e volta-se à linha de comandos iniciais (C-1).

5.4.2 - DESEMPENHO E FORMA OPERACIONAL DO PROGRAMA MTACREC

Uma vez terminado o processamento do programa MTACCON, o qual possibilitou gerar o arquivo de projeções de ângulo θ , NOME.DATA, deve-se processar o programa MTACREC para obter-se o arquivo NOME.IMAGE o qual representa a matriz imagem com os respectivos coeficientes de atenuação linear.

Assim, deve-se digitar <X> e tem-se no monitor de vídeo a mensagem:

```
EXECUTE WHAT FILE?
```

responde-se digitando:

```
<#>  
<5>  
<:>  
<MTACREC>  
<RETURN>
```

Após digitar <RETURN>, tem-se uma mensagem no monitor de vídeo seguida da solicitação do nome do arquivo NOME.DATA com o qual deseja-se trabalhar e o nome do arquivo NOME.IMAGE o qual será

produto do processamento do arquivo de dados, isto é:

```

-----
-                                     -
-          MTAC-RECONSTRUCAO          -
-                                     -
-----

```

NOME FILE DE INPUT: ...

NOME FILE DE OUTPUT: ...

desta forma, o programa promove inicialmente a filtragem dos da dos ou pontos das projeções de ângulo θ apresentando no monitor de vídeo a mensagem:

```

- FILTRAGEM -
      LINHA L =

```

e, posteriormente à fase de filtragem inicia-se o cálculo da ma triz onde as projeções filtradas são retroprojetadas dando ori gem à matriz imagem onde cada ponto representa o coeficiente de atenuação linear médio em cada pixel considerado.

Durante esta fase tem-se a seguinte mensagem no monitor de vídeo:

```

- CALCULO DA MATRIZ -
      LINHA I = ...

```

Assim, uma vez terminado o processamento com a geração do arqui vo NOME.IMAGE, este é armazenado no disco flexível do Drive 1 ou 2, é enviado ao monitor de vídeo a mensagem final do progra ma MTACREC, isto é:

FIM DE PROCESSAMENTO,
USE O SOFTWARE ---> MTACSEC
PARA VER A SECCAO

e, volta-se à linha de comandos iniciais (C-I).

5.4.3 - DESEMPENHO E FORMA OPERACIONAL DO PROGRAMA MTACSEC

Uma vez terminado o processamento do programa MTACREC, o qual possibilitou gerar o arquivo dos coeficientes de atenuação linear a partir dos dados coletados, deve-se processar o programa MTACSEC o qual possibilita a visualização gráfica da imagem.

Assim, deve-se digitar <X> e tem-se no monitor de vídeo a mensagem:

```
<#>
<5>
<:>
<MTACSEC>
<RETURN>
```

Após digitar <RETURN> tem-se a planta gráfica no monitor de vídeo e é solicitado o nome do arquivo NOME.IMAGE com o qual deseja-se trabalhar. Assim, deve-se entrar o nome do arquivo seguido por <RETURN> e, após a elaboração da escala de densidade de pontos e título, tem-se a formação da imagem no vídeo do microcomputador.

A Figura (5.11) ilustra uma imagem genérica de um Phantom^(*).

(*)Phantom - corpo de suporte para as amostras. Possui geralmente um baixo coeficiente de atenuação comparativo ao das amostras.

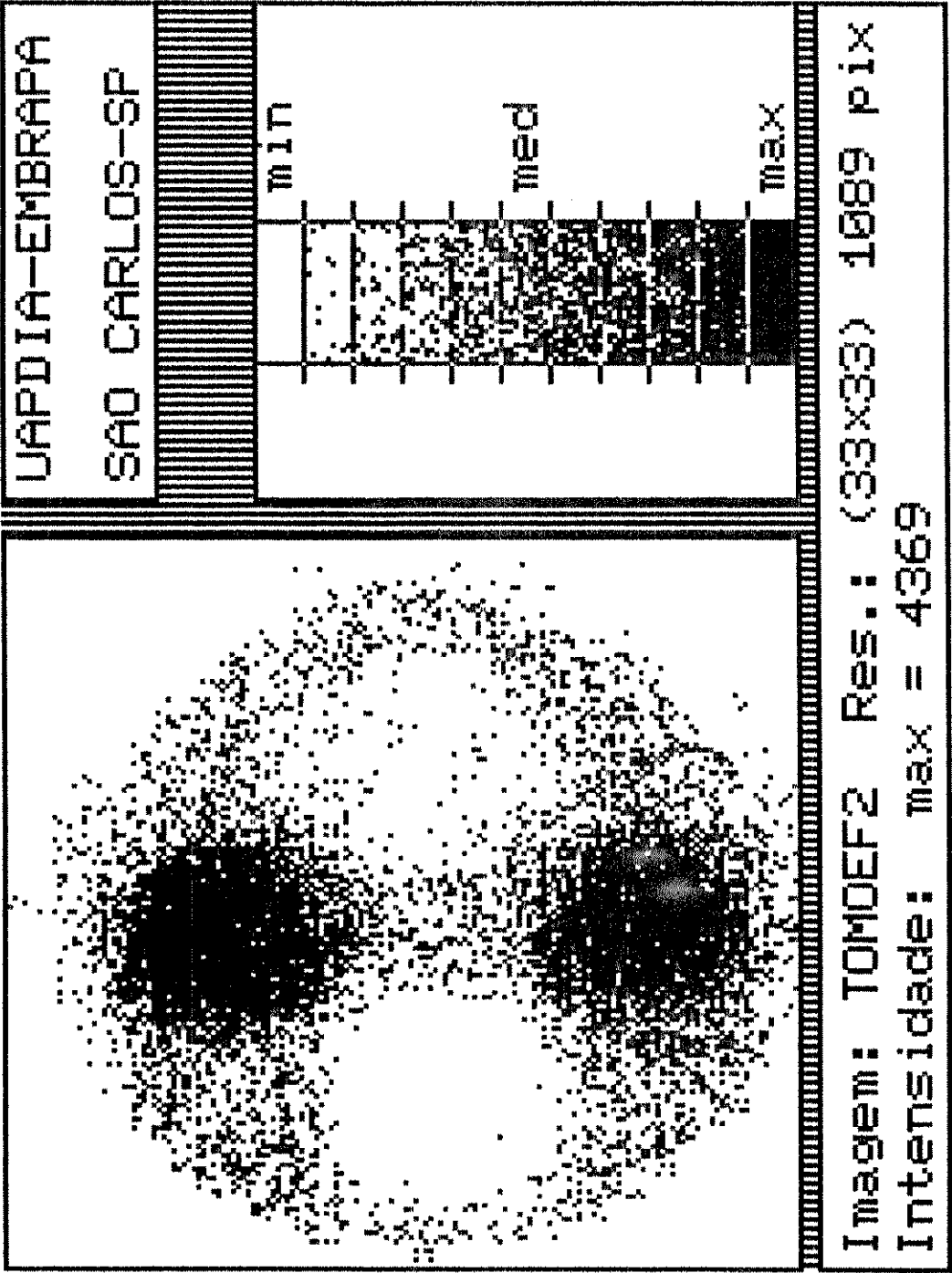


Figura (5.11) - Imagem genérica de um Phantom

Por outro lado, para uma análise quantitativa ao longo de uma imagem já formada, deve-se digitar <C>, o que possibilitará trabalhar com um cursor, sobre a imagem, movimentando-o com as teclas <I>, <J>, <K> e <M> as quais possibilitam respectivamente movimentos para cima, para a esquerda, para a direita e para baixo ou, para movimentos rápidos com as teclas <P>, <L>, <+> e <.>.

Assim, simultaneamente ao movimento do cursor, tem-se apresentado no monitor de vídeo o valor do coeficiente de atenuação em $\text{cm}^{-1} \times K_E$, sendo a constante K_E uma função da energia.

Ao terminar a análise quantitativa deve-se ditar <ESC>, e após <Q>, voltando-se à linha de comandos iniciais (C-I).

Uma vez que a imagem gráfica fica armazenada no Buffer de vídeo do microcomputador, esta pode ser posteriormente transferida à impressora gráfica.

5.5 - EFEITOS DAS FLUTUAÇÕES ESTATÍSTICAS NA QUALIDADE DAS RECONSTRUÇÕES

O ruído, na qualidade de uma imagem, pode variar com a raiz quadrada do número de fótons contados, razão pela qual é conveniente trabalhar em regiões onde haja limitações de flutuações.

Por outro lado, a resolução espacial é independente da contagem do número de fótons.

Apresentamos aqui dois resultados que mostram os efeitos sobre a qualidade da imagem de um Phantom, ao variamos o desvio padrão σ de $(1000)^{\frac{1}{2}}$ para $(10.000)^{\frac{1}{2}}$. Os seguintes parâmetros foram utilizados neste experimento.

- Translação total 36mm
- Passo de translação 1mm
- Rotação total 180°
- Passo de rotação $2,27^\circ$
- Tempo de contagem para $\sigma = \pm(1000)^{\frac{1}{2}}$ 1 segundo
- Tempo de contagem para $\sigma = \pm(10.000)^{\frac{1}{2}}$.. 5 segundos
- Energia 59.9KeV

5.5.1 - RESULTADO COM DESVIO PADRÃO $\sigma = \pm(10000)^{\frac{1}{2}}$

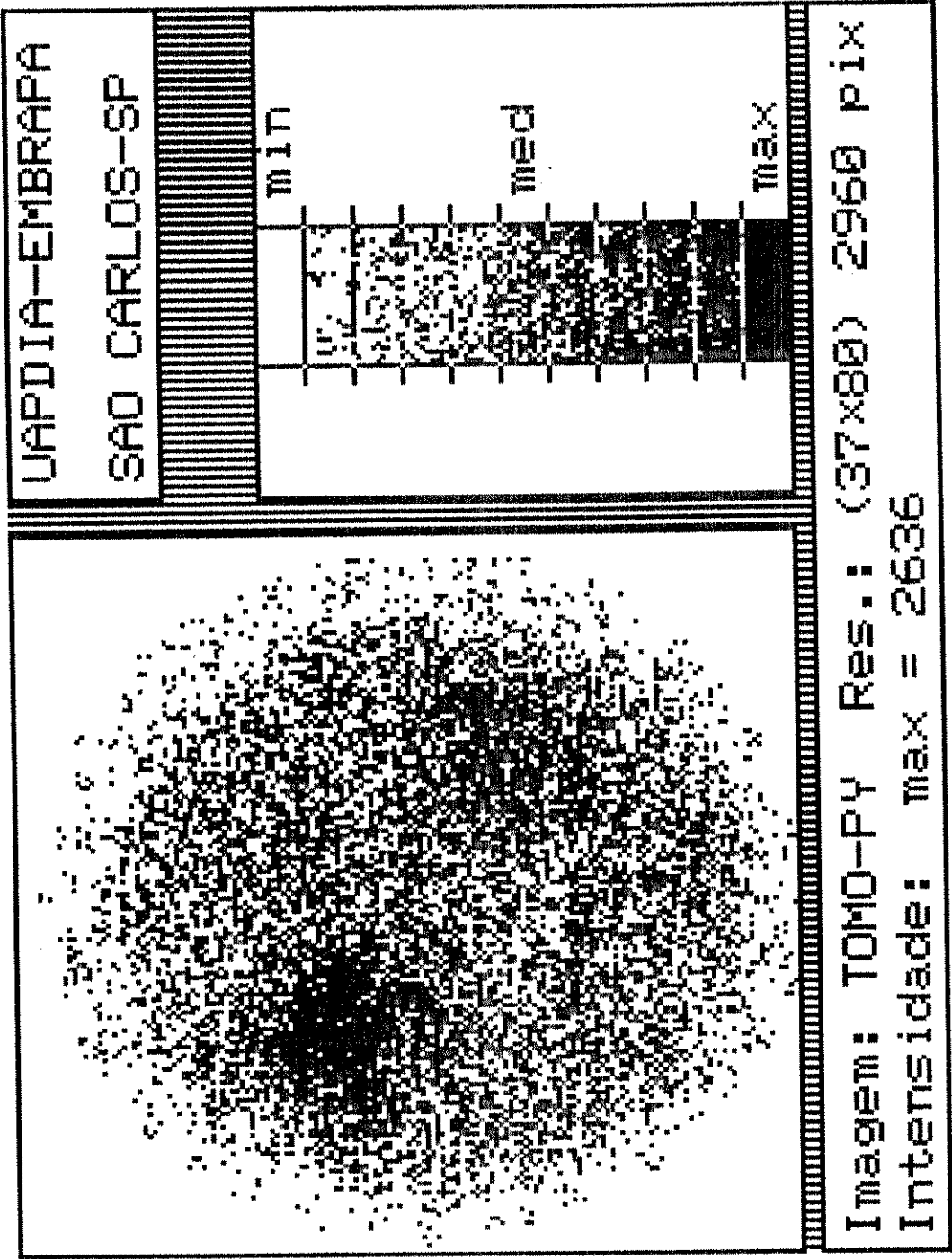


Figura (5.12) - Imagem TOMO-PY.
 $\sigma = \pm(10000)^{\frac{1}{2}}$

5.5.2 - RESULTADO COM DESVIO PADRÃO $\sigma = \pm(10.000)^{\frac{1}{2}}$

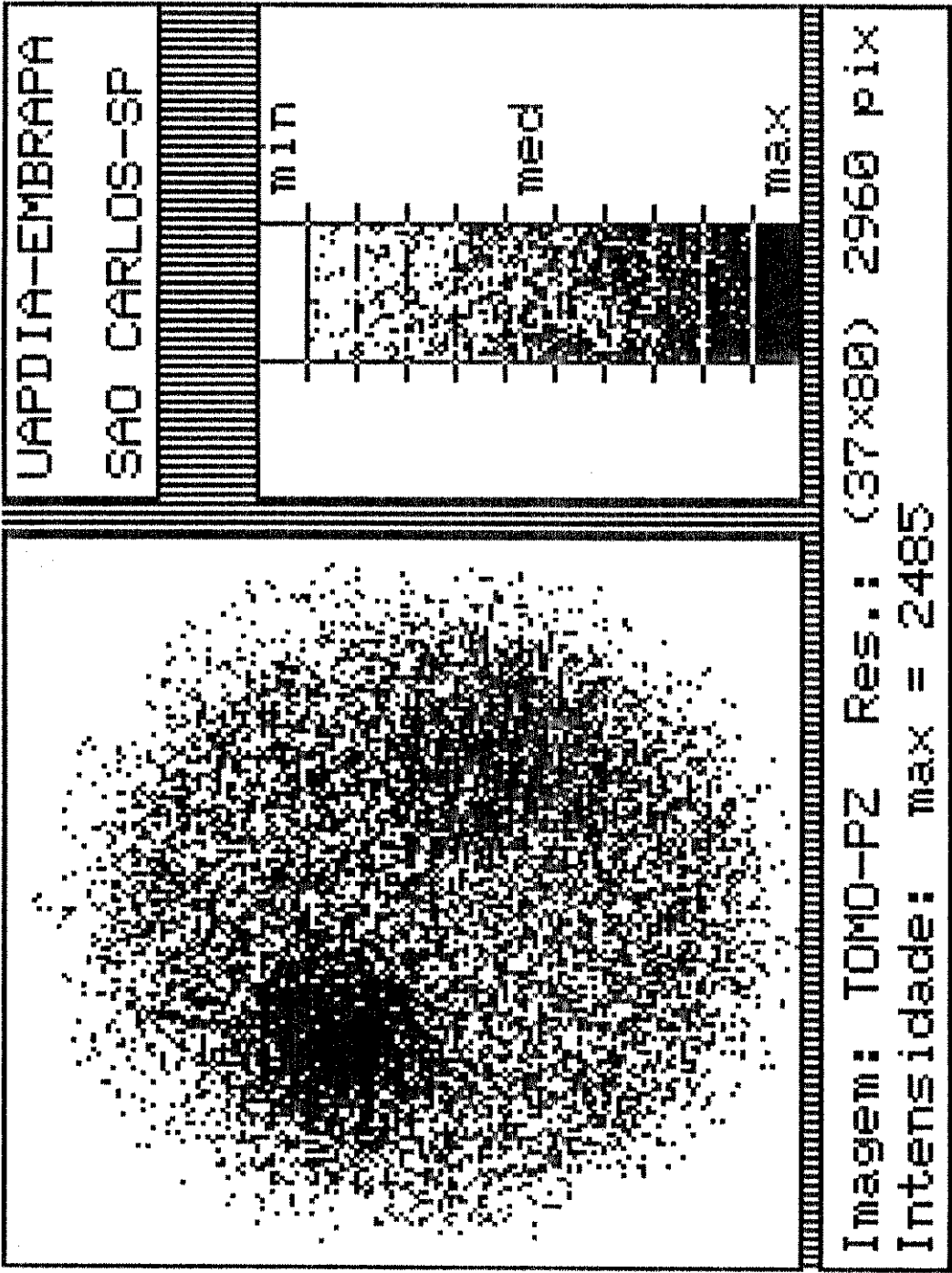


Figura (5.13) - Imagem TOMO-PZ.

$$\sigma = \pm(10000)^{\frac{1}{2}}$$

5.6 - ESTUDOS DE RESOLUÇÃO ESPACIAL

5.6.1 - VARIAÇÃO DO RAIOS DO FEIXE DE FÓTONS

Foi mostrado no item 5.4, que a espessura do feixe de fótons não corresponde em geral à janela do colimador, assim, a distância Fonte-Objeto, deve ser rigorosamente observada para a busca de uma ótima resolução espacial.

Para o estudo de resolução espacial consideramos um Phantom, conforme ilustra a Figura (5.14), constituído por buracos de diâmetros 1,2; 3,0 e 6,0mm e foram feitas três tomografias considerando as seguintes distâncias Fonte-Phantom 30; 50 e 100mm, correspondendo respectivamente aos seguintes raios do feixe de fótons 1,2; 2,0 e 4,0mm.

Por outro lado, o desvio padrão não foi alterado uma vez que o tempo de contagem foi reajustado para as mesmas contagens, o que proporcionou sucessivamente uma melhoria no ruído a cada aumento de raio do feixe de fótons.

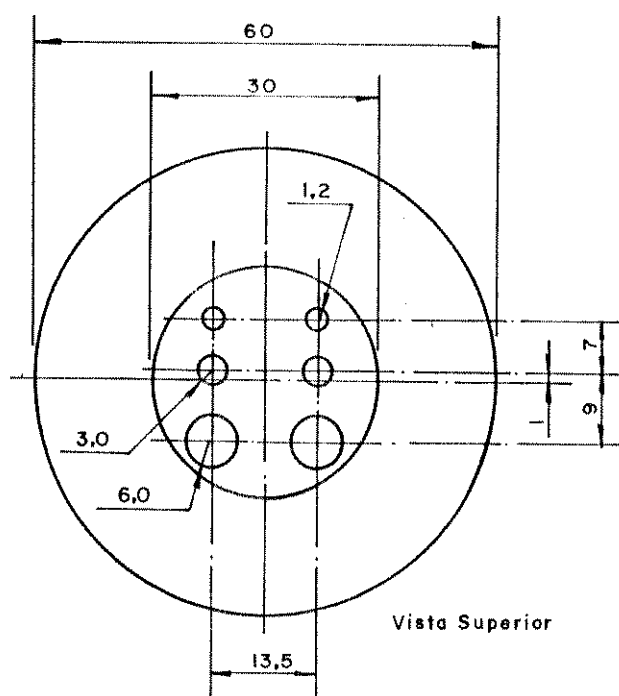


Figura (5.14) - Phantom para estudos de resolução espacial

Os seguintes parâmetros foram utilizados neste experimento:

- Translação total 36mm
- Passo de translação 1mm
- Rotação total 180°
- Passo de rotação 5°
- Tempo de contagem para resultado 1 1 segundo
- Tempo de contagem para resultado 2 2 segundos
- Tempo de contagem para resultado 3 2 segundos
- Energia 59.9KeV

5.6.1.1 - RESULTADO COM O RAI0 DO FEIXE DE FÓTONS DE
1,2 mm

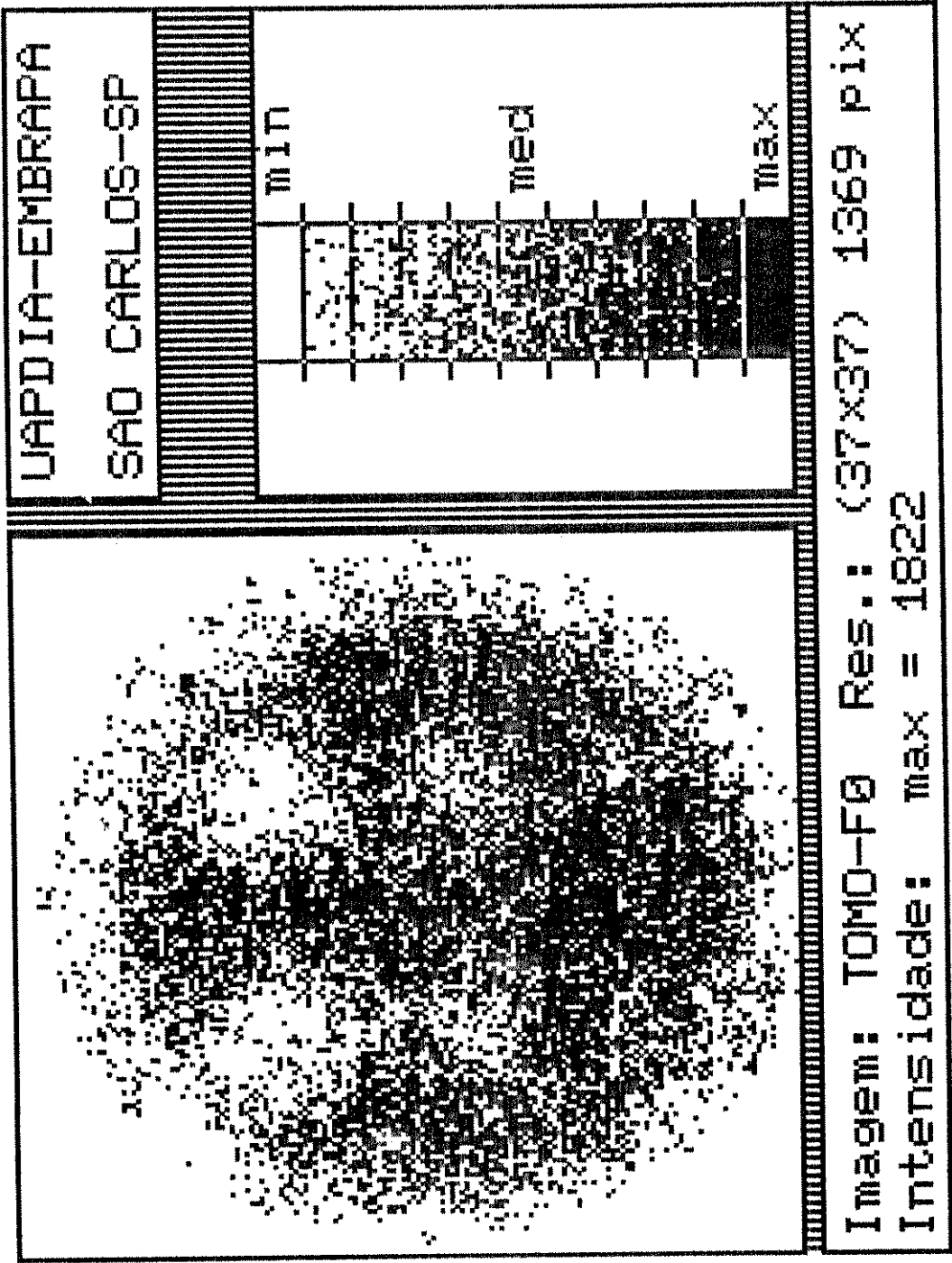


Figura (5.15) - Ilustra a imagem TOMO-F0.

5.6.1.2 - RESULTADO COM O RAI0 DO FEIXE DE FÓTONS DE
3,0 mm

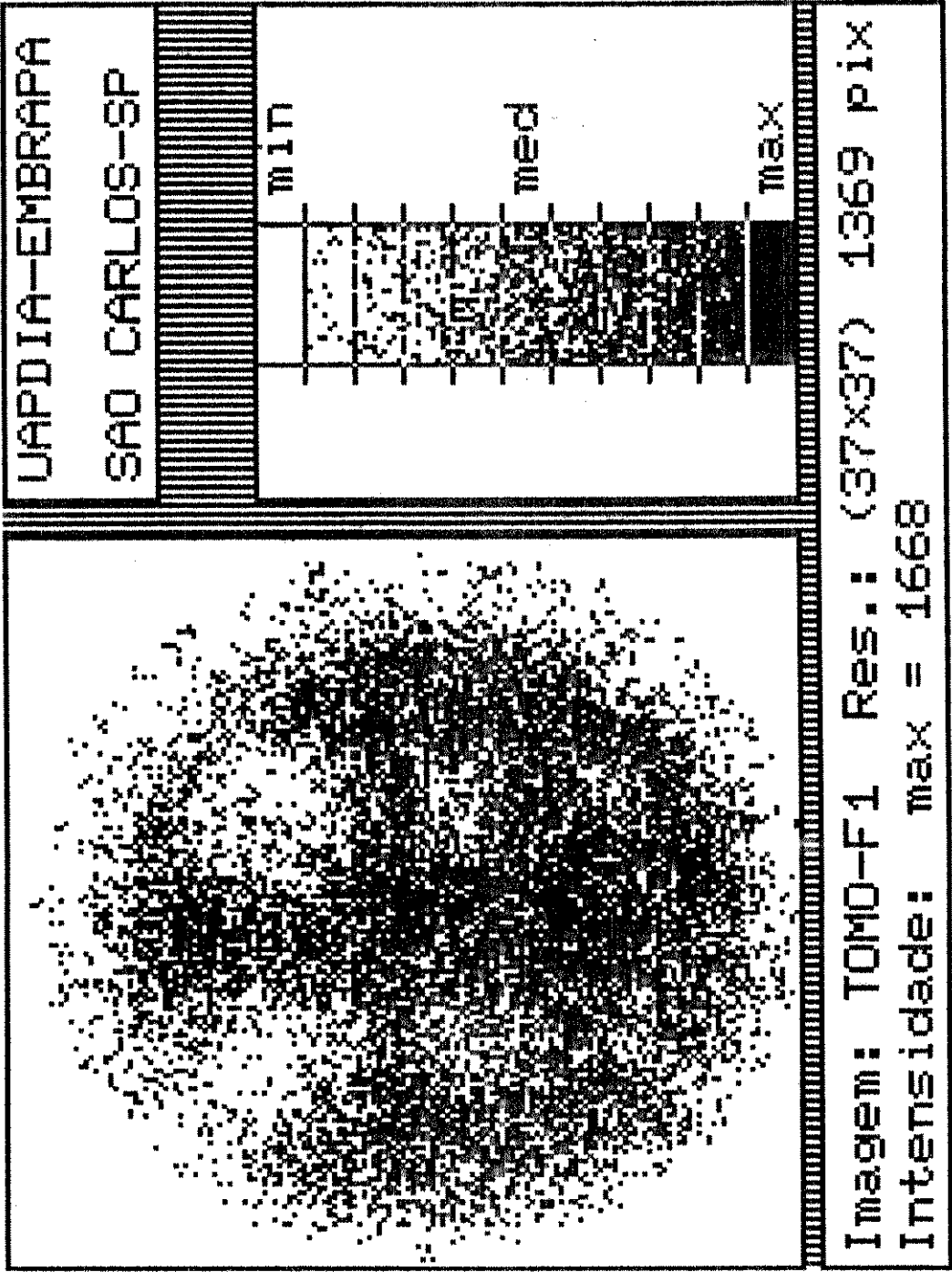


Figura (5.16) - Ilustra a imagem TOMO-F1.

5.6.1.3 - RESULTADO COM O RAI0 DO FEIXE DE FÓTONS DE
6,0 mm

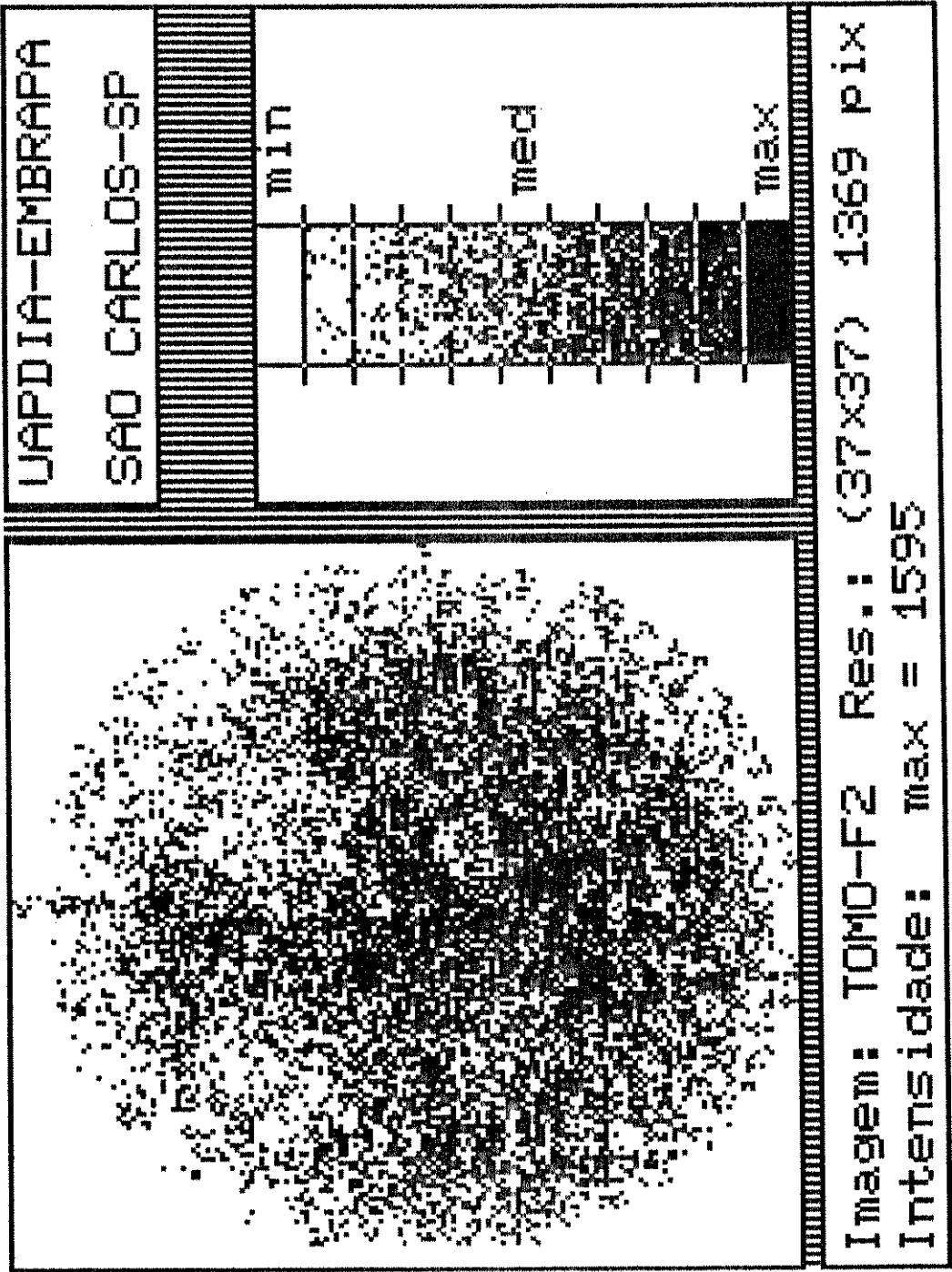


Figura (5.17) - Ilustra a imagem TOMO-F2.

5.6.1.4 - ANÁLISE QUANTITATIVA DOS RESULTADOS APRESENTADOS NOS ITENS 5.6.1.1, 5.6.1.2 e 5.6.1.3

As Figuras (5.18), (5.19) e (5.20) representam $\mu(\ell, \theta)$ versus ℓ ao longo de um dos conjuntos de buracos do Phantom apresentado na Figura (5.14), variando-se o raio do feixe de fótons. Desta forma tem-se respectivamente, ao longo da mesma linha considerada, $\mu(\ell, \theta)$ versus ℓ para as imagens TOMO-F0, TOMO-F1 e TOMO-F2

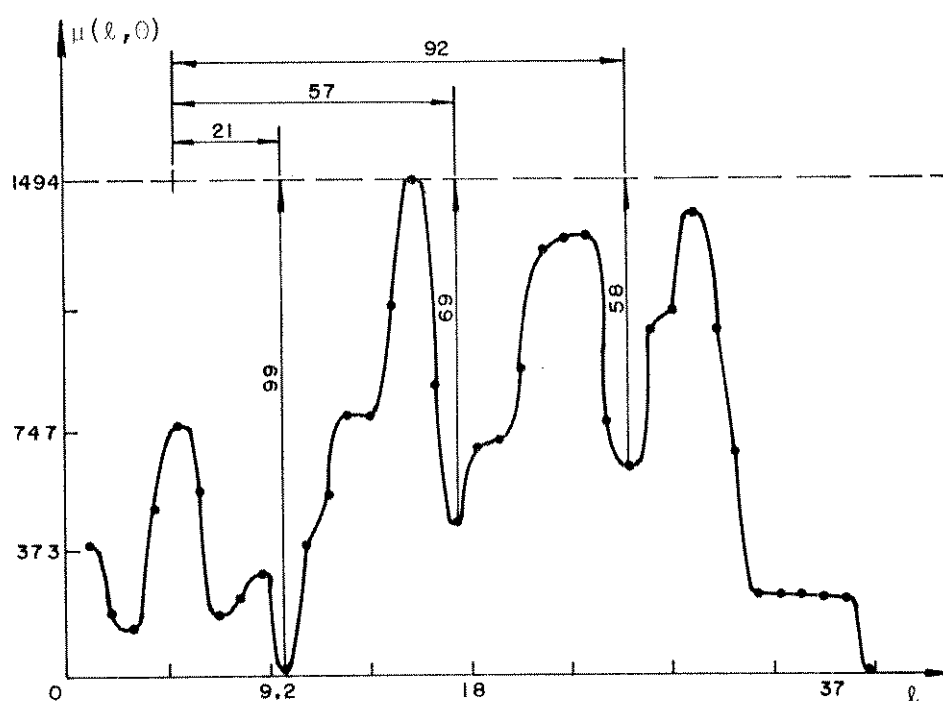


Figura (5.18) - $\mu(\ell, \theta)$ versus ℓ para a imagem TOMO-F0, raio de 1,2mm

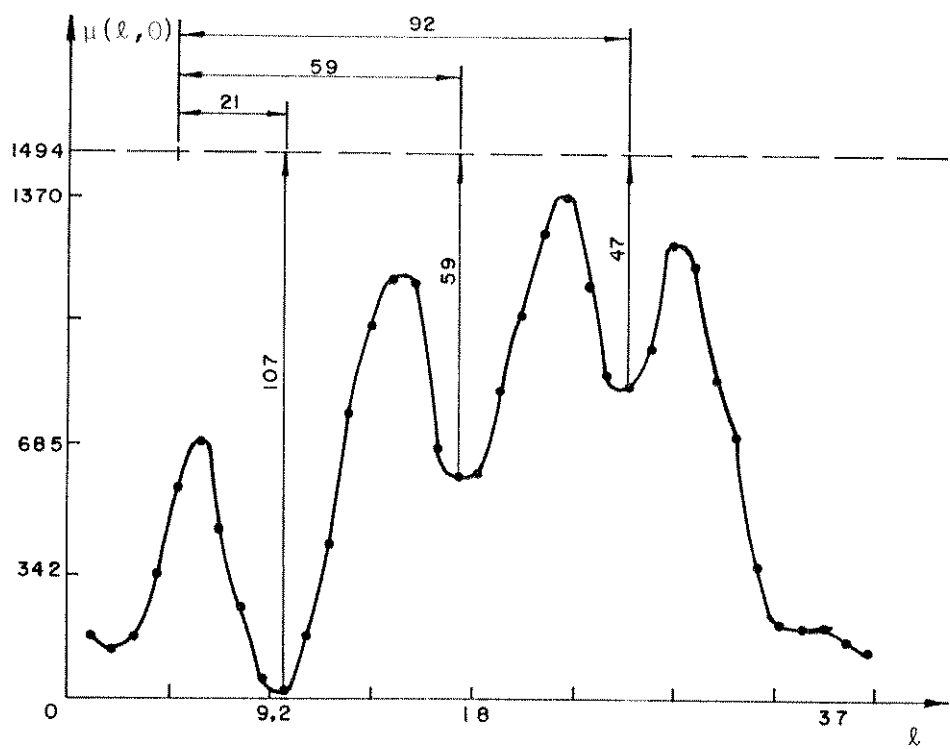


Figura (5.19) - $\mu(\ell, \theta)$ versus ℓ para a imagem TOMO-F1, raio de 2,0mm

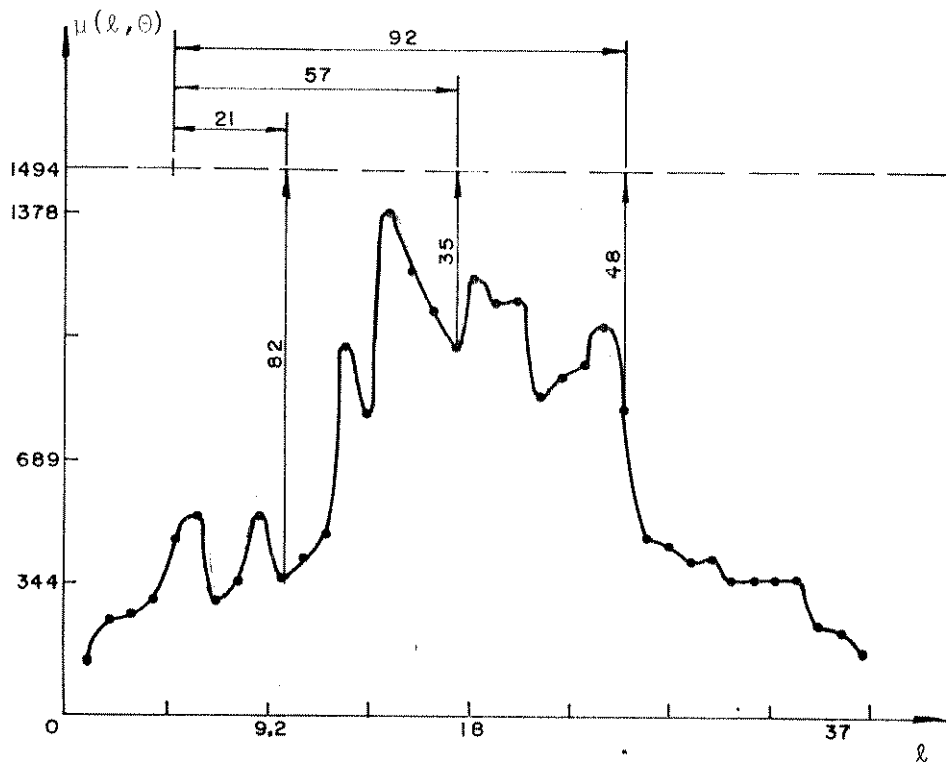


Figura (5.20) - $\mu(\ell, \theta)$ versus ℓ para a imagem TOMO-F2, raio de 4,0mm

Assim, a avaliação quantitativa das três imagens TOMO-F0, TOMO-F1 e TOMO-F2 pode ser sumarizada pela Figura (5.21), a qual apresenta a função transferência de contraste e o correspondente desvio padrão para os feixes de fótons com raio de 1,2; 2,0 e 4,0mm.

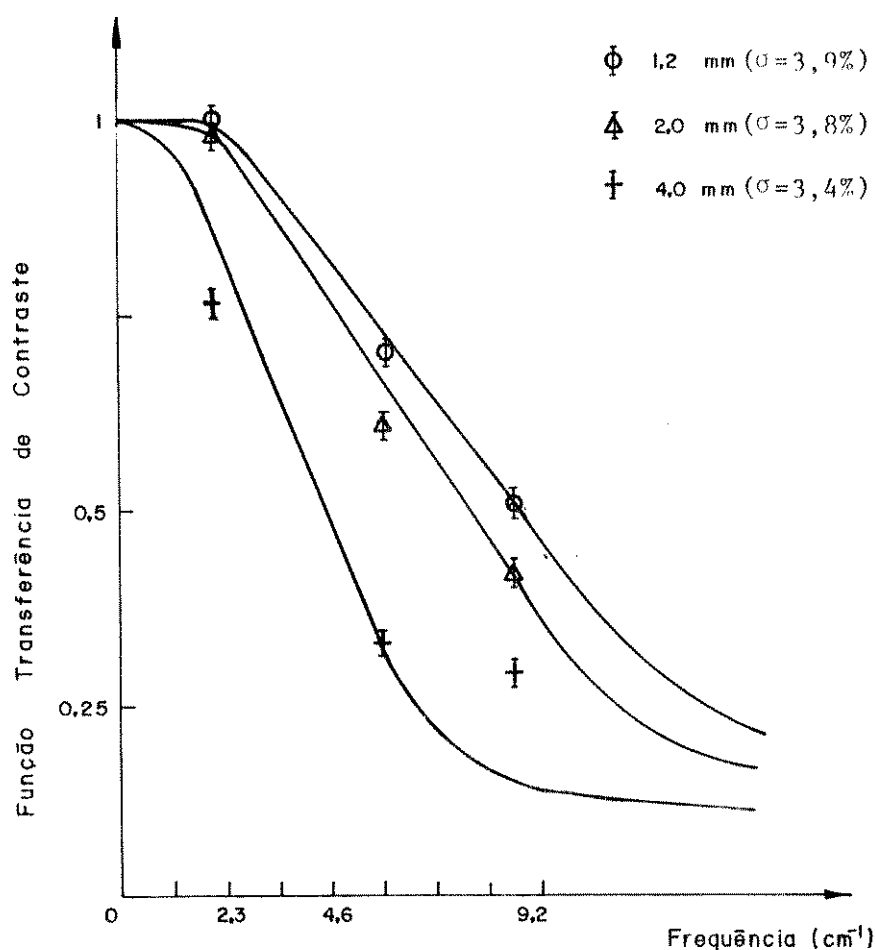


Figura (5.21) - Função Transferência de Contraste e correspondente desvio padrão σ para os feixes de fótons com raio de 1,2; 2,0 e 4,0mm

5.6.2 - TAMANHO DO PIXEL

Ao contrário do contraste da imagem, a resolução espacial também é uma função do tamanho do pixel.

Para uma boa resolução espacial, além da espessura do feixe de fótons deve-se levar em conta o tamanho do pixel, o qual deve ser maior ou igual ao diâmetro do feixe de fótons considerado⁽⁴⁸⁾.

Para uma avaliação da influência do tamanho do pixel, considerou-se o Phantom utilizado na secção 5.7.1 e fez se três experimentos considerando pixel de tamanhos 1mm^2 , 2mm^2 e 3mm^2 .

Os seguintes parâmetros foram utilizados neste experimento.

- Translação total 36mm
- Passo de translação para resultado 1 1mm
- Passo de translação para resultado 2^{*} ... 1mm
- Passo de translação para resultado 3 2mm
- Passo de translação para resultado 4 3mm
- Rotação total
- Passo de rotação para resultado 1 $2,33^\circ$
- Passo de rotação para resultado 2 5°
- Passo de rotação para resultado 3 10°
- Passo de rotação para resultado 4 30°
- Tempo de contagem 1 segundo
- Energia 59.9KeV

(*) Resultado 2 - Manteve-se o tamanho do pixel de 1mm^2 e variou-se o número de projeções.

5.6.2.1 - RESULTADO 1 E 2 COM TAMANHO DE PIXEL DE 1mm

5.6.2.1.1 - Considerando 78 projeções

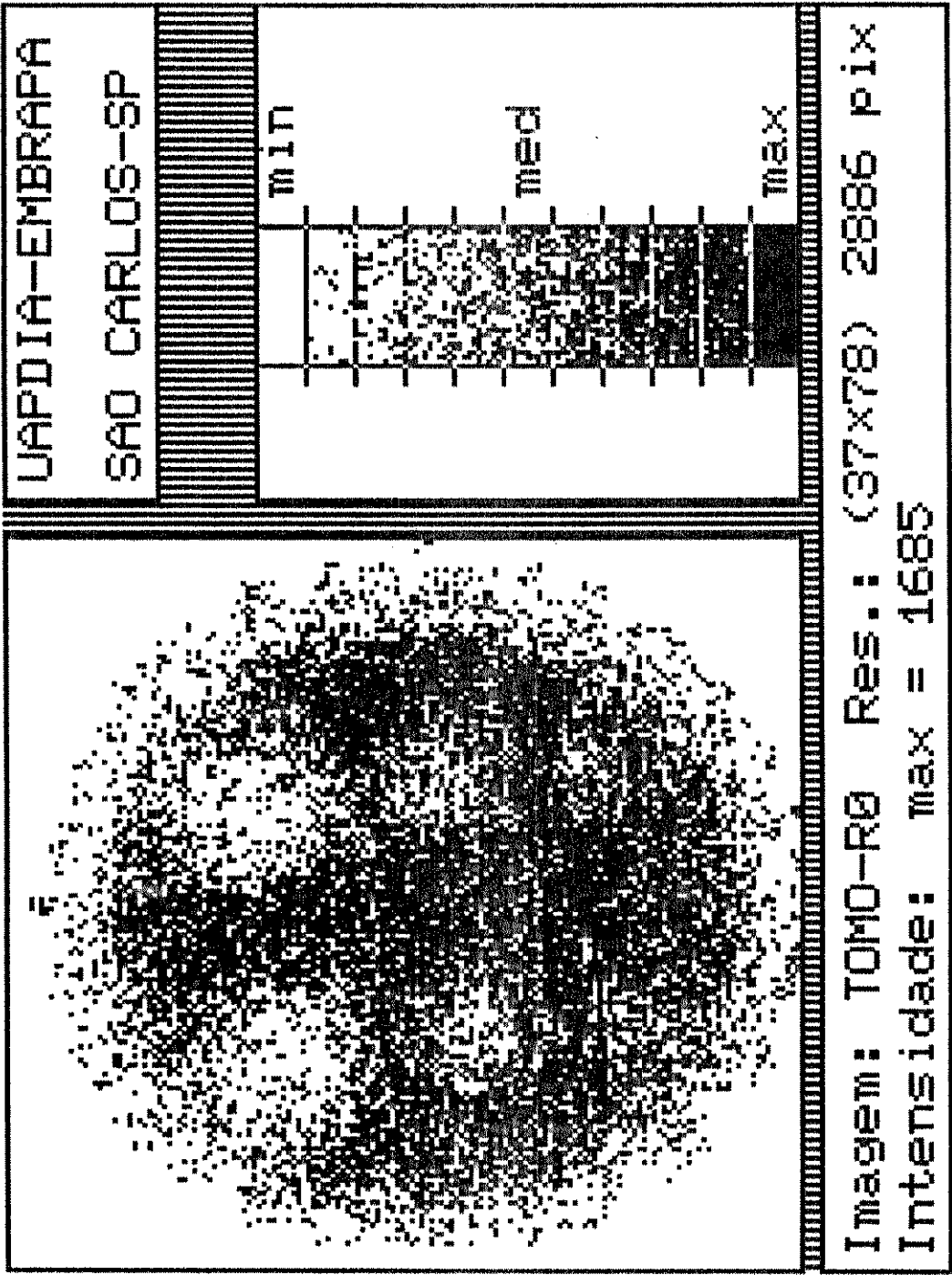


Figura (5.22) - Ilustra a imagem TOMO-R0.

5.6.2.1.2 - Considerando 37 projeções

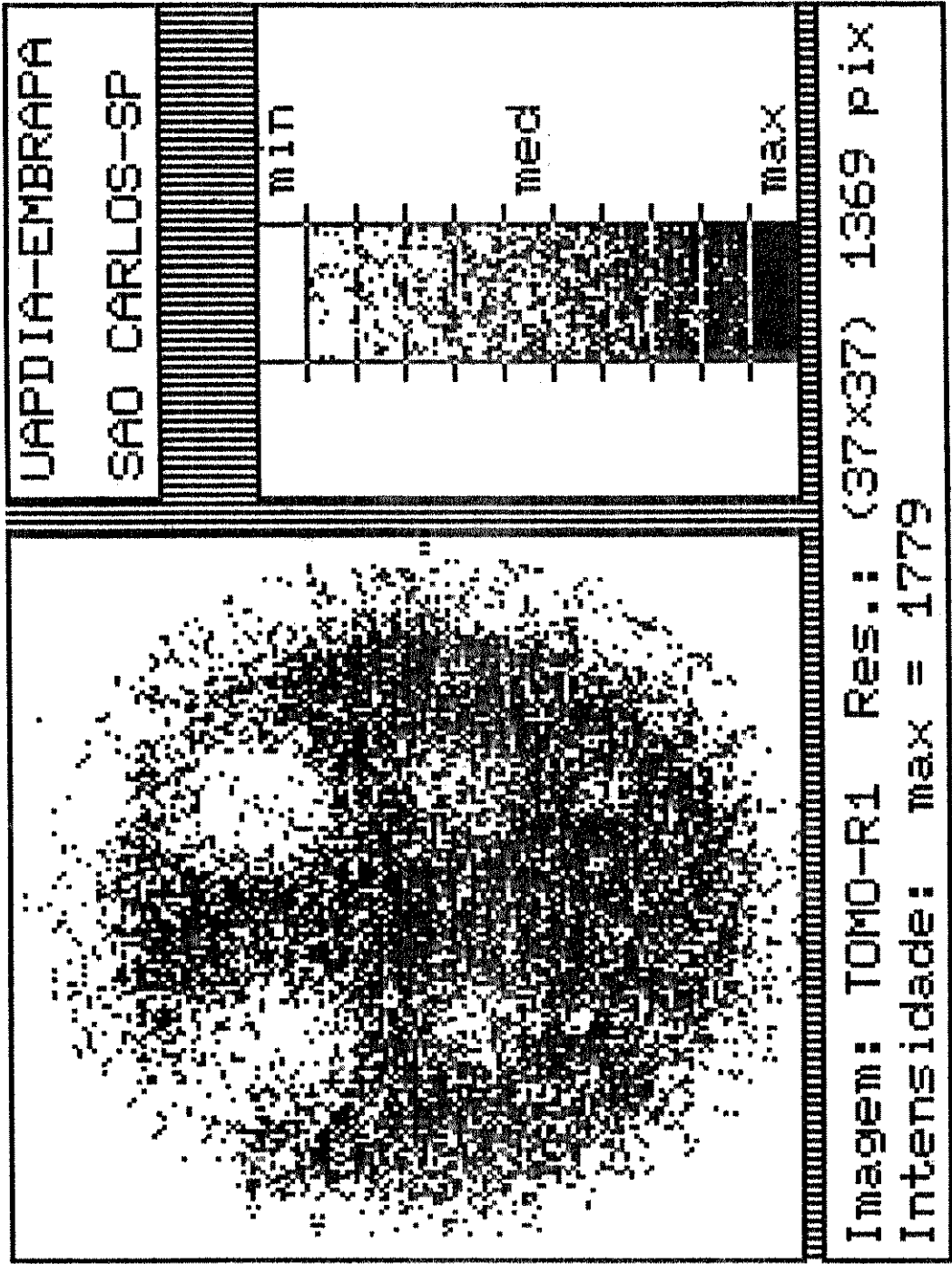


Figura (5.23) - Ilustra a imagem TOMO-R1.

5.6.2.2 - RESULTADO 3 COM TAMANHO DE PIXEL DE 2mm

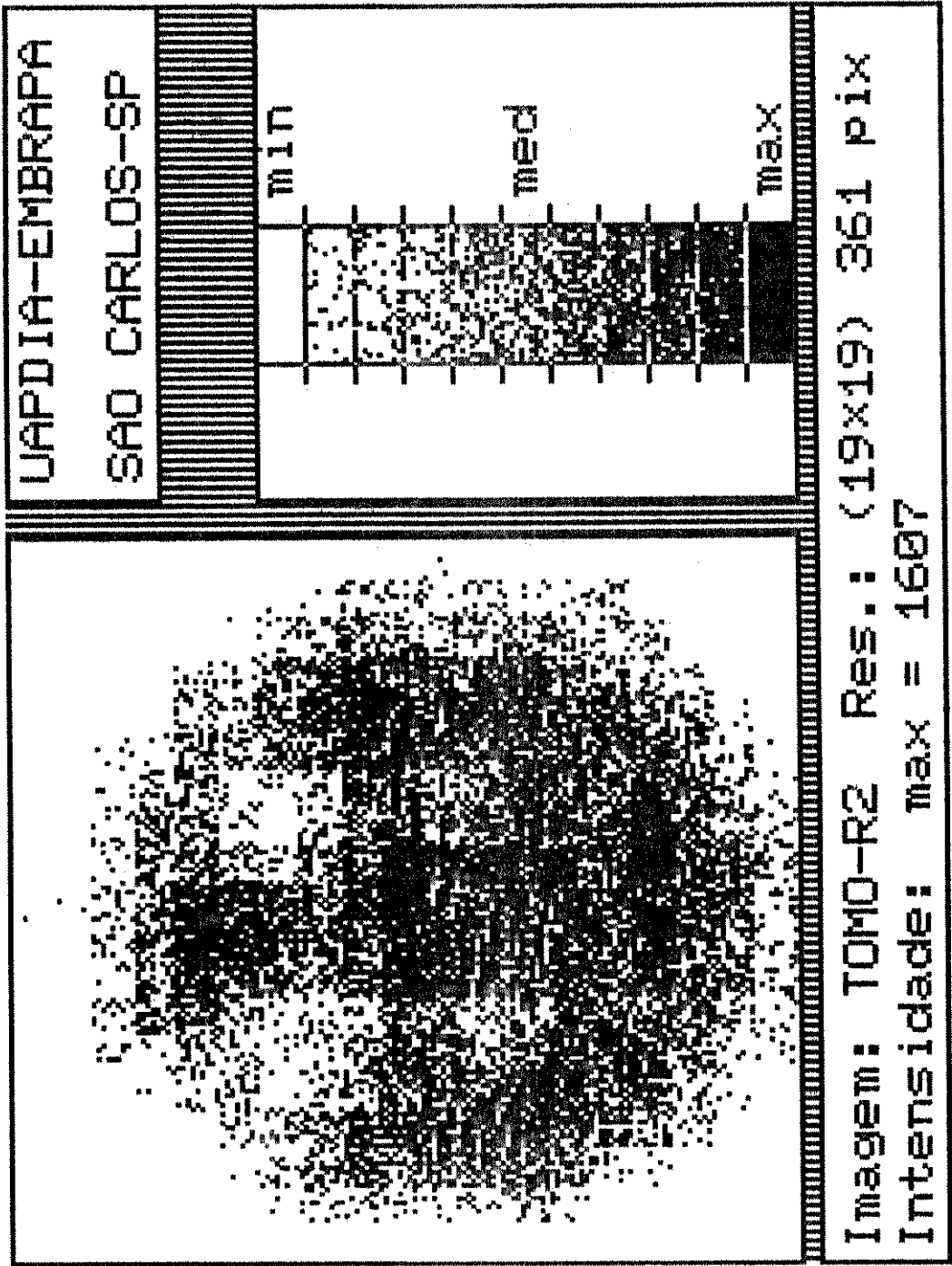


Figura (5.24) - Ilustra a imagem TOMO-R2.

5.6.2.3 - RESULTADO 4 COM TAMANHO DE PIXEL DE 3mm

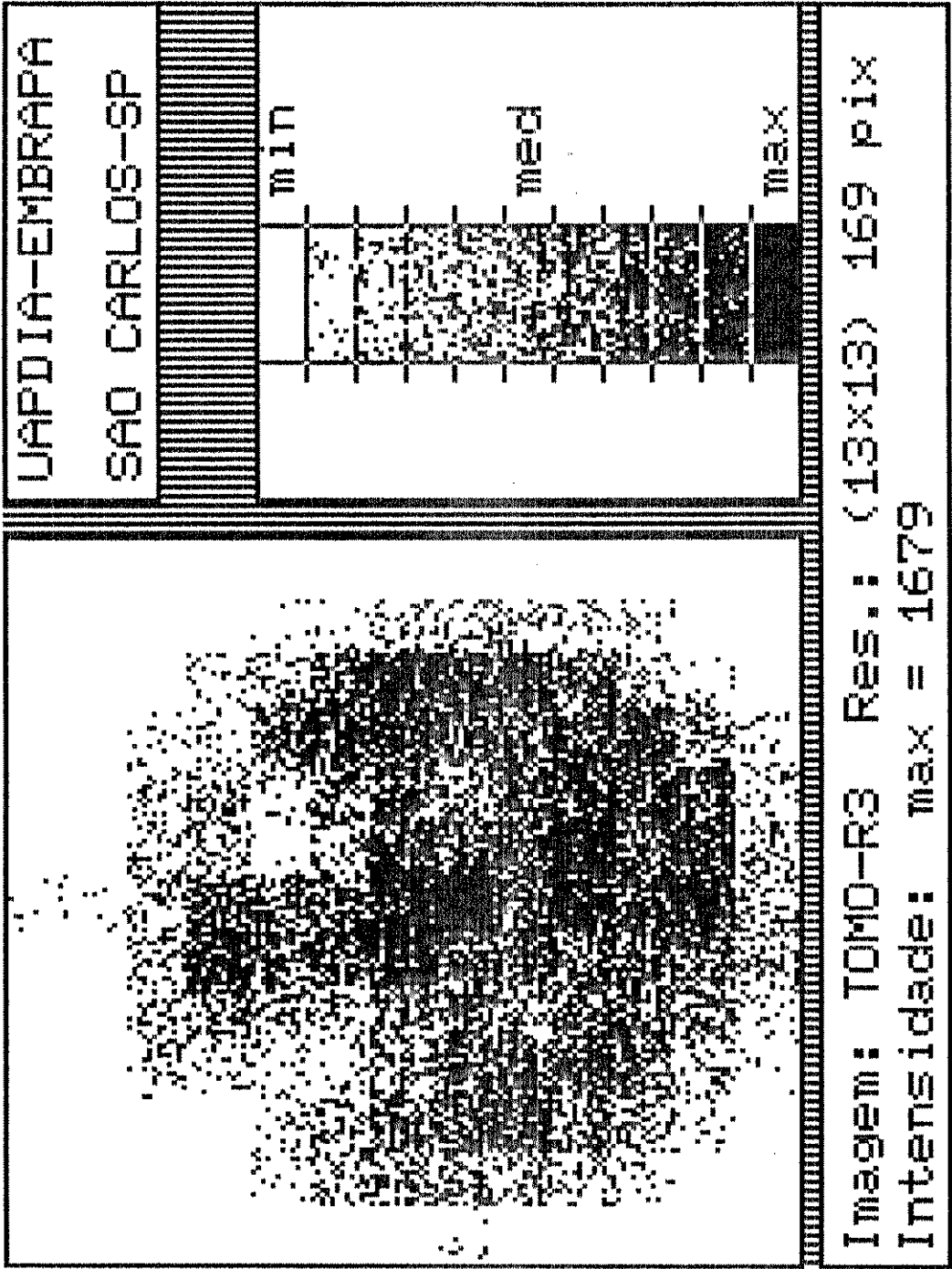


Figura (5.25) - Ilustra a imagem TOMO-R3.

5.6.2.4 - ANÁLISE QUANTITATIVA DOS RESULTADOS APRESENTADOS NOS ITENS 5.6.2.1.2; 5.6.2.2 e 5.6.2.3

As Figuras (5.26), (5.27) e (5.28) representam $\mu(\ell, \theta)$ versus ℓ ao longo de um dos conjuntos de buracos do Phantom apresentado na Figura (5.14), variando-se o tamanho do pixel.

Desta forma tem-se respectivamente, ao longo da mesma linha considerada, $\mu(\ell, \theta)$ versus ℓ para as imagens TOMO-R1, TOMO-R2 e TOMO-R3.

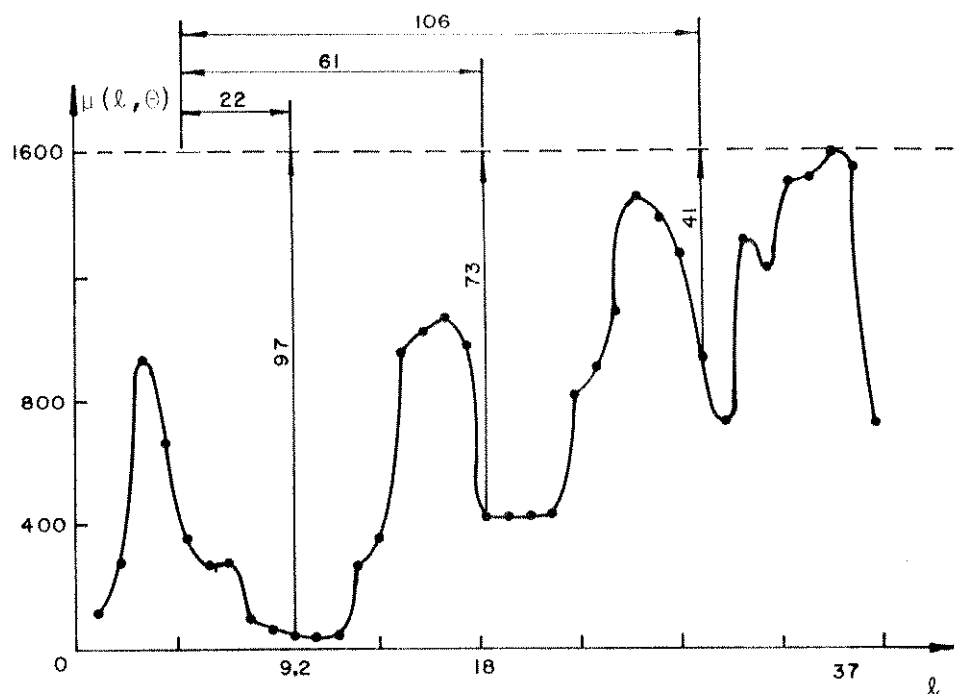


Figura (5.26) - $\mu(\ell, \theta)$ versus ℓ para a imagem TOMO-R1 com pixel de 1mm^2

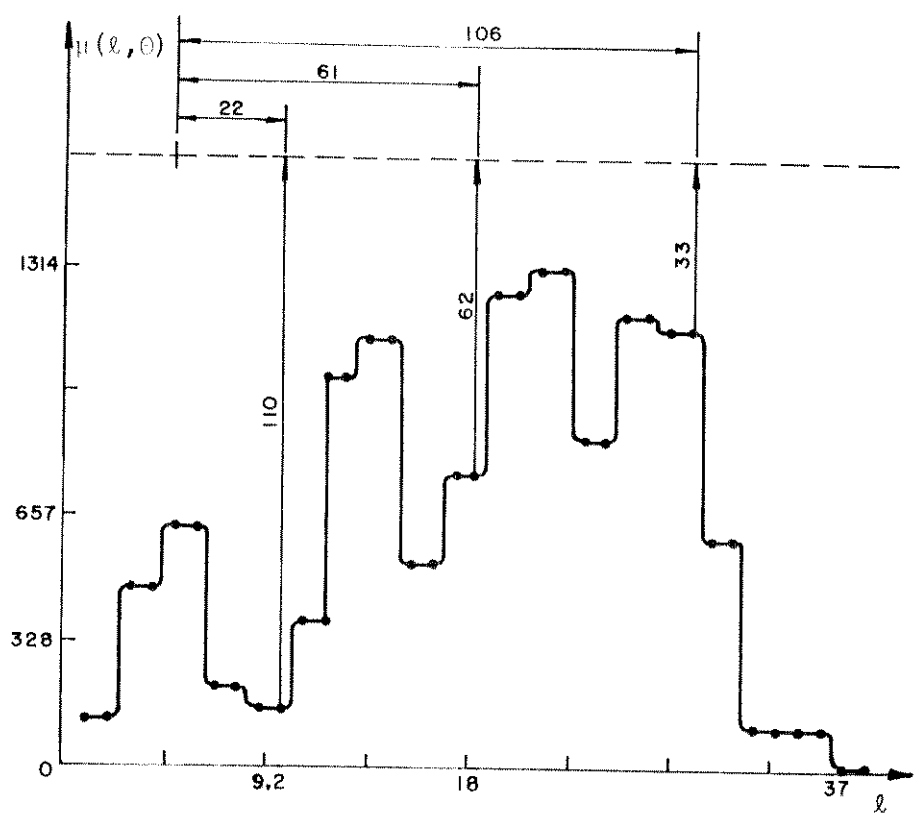


Figura (5.27) - $\mu(\ell, \theta)$ versus ℓ para a imagem TOMO-R2 com pixel de 2mm^2

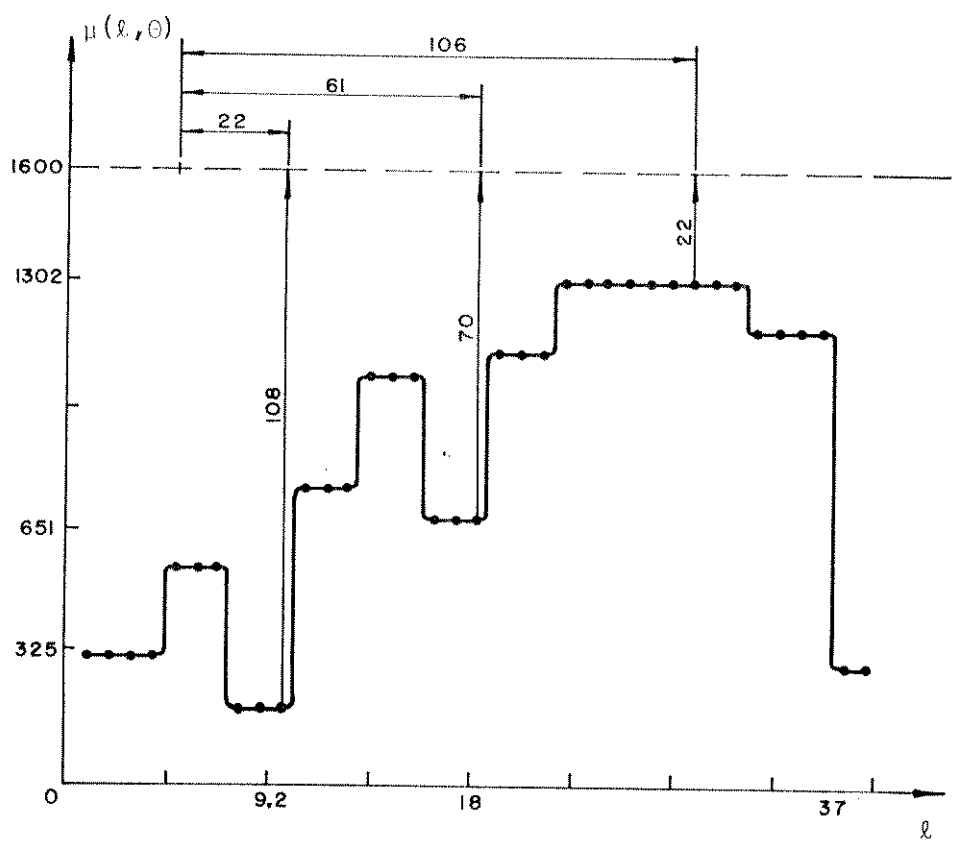


Figura (5.28) - $\mu(\ell, \theta)$ versus ℓ para a imagem TOMO-R3 com pixel de 3mm^2

Assim, a avaliação quantitativa das três imagens TOMO-R1, TOMO-R2 e TOMO-R3 pode ser sumarizada pela Figura (5.29) a qual apresenta a função transferência de contraste e o correspondente desvio padrão σ para pixel de 1,0; 2,0 e 3,0mm²

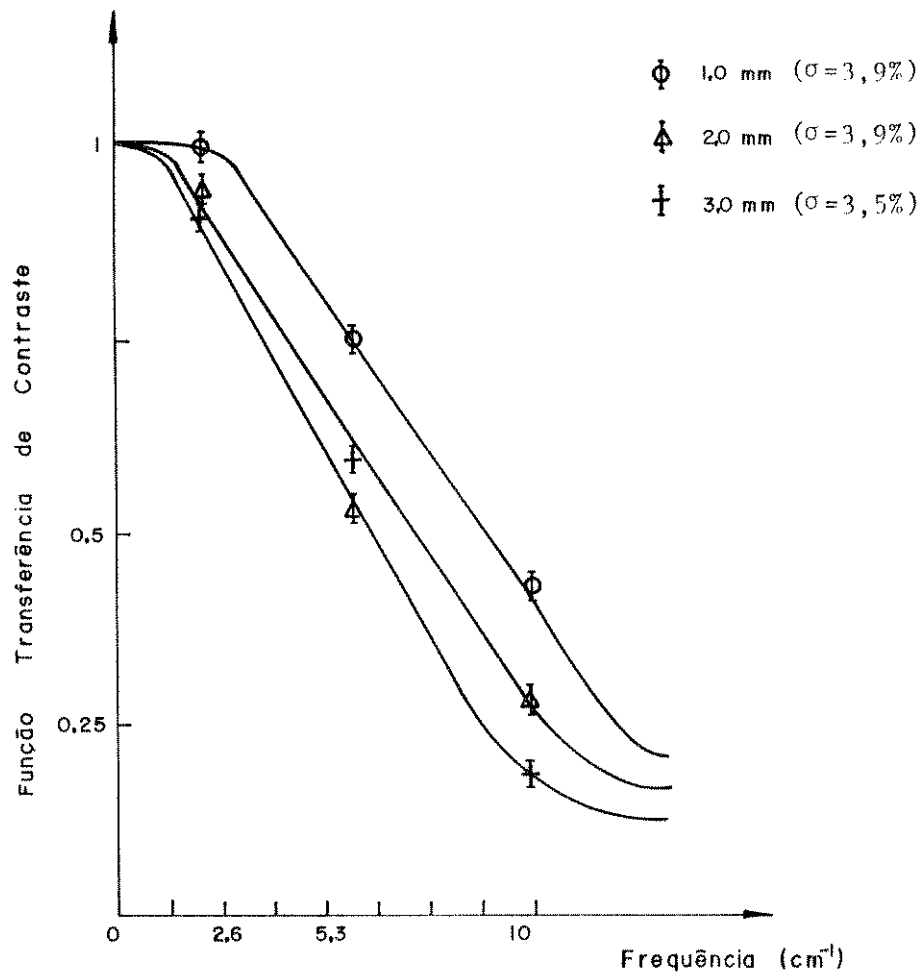


Figura (5.29) - Função Transferência de Contraste e correspondente desvio padrão σ para pixel de 1,0; 2,0 e 3,0mm²

5.6.3 - SPAN^(*) ANGULAR

Sob condições ideais as projeções necessitam de um span angular de 180° uma vez que medidas feitas entre 180° e 360° são consideradas redundantes⁽⁴⁹⁾.

Porém, se o feixe de fótons foi assimétrico com relação ao centro de rotação, a utilização de um span de 360° pode suprimir artefatos. Para uma avaliação da influência do span angular, considerou-se o Phantom utilizados nas secções 5.7.1 e 5.7.2 e fez-se três experimentos considerando span de 180° com feixe de fótons simétrico com relação ao centro de rotação e spande 180° e 360° com feixe de fótons assimétrico com relação ao centro de rotação.

Os seguintes parâmetros foram utilizados neste experimento:

- Translação total 36mm
- Passo de translação 2mm
- Rotação total para experimentos 1 e 2 180°
- Passo de rotação para experimentos 1 e 2 . 10°
- Assimetria para experimentos 2 e 3 4mm
- Rotação total para experimento 3 360°
- Passo de rotação para experimento 3 20°
- Tempo de contagem 1 segundo
- Energia 59.9KeV

(*) Span - Define o intervalo de uma faixa de medidas entre extremidades laterais.

5.6.3.1 - RESULTADO 1 COM SPAN DE 180° E SIMETRIA

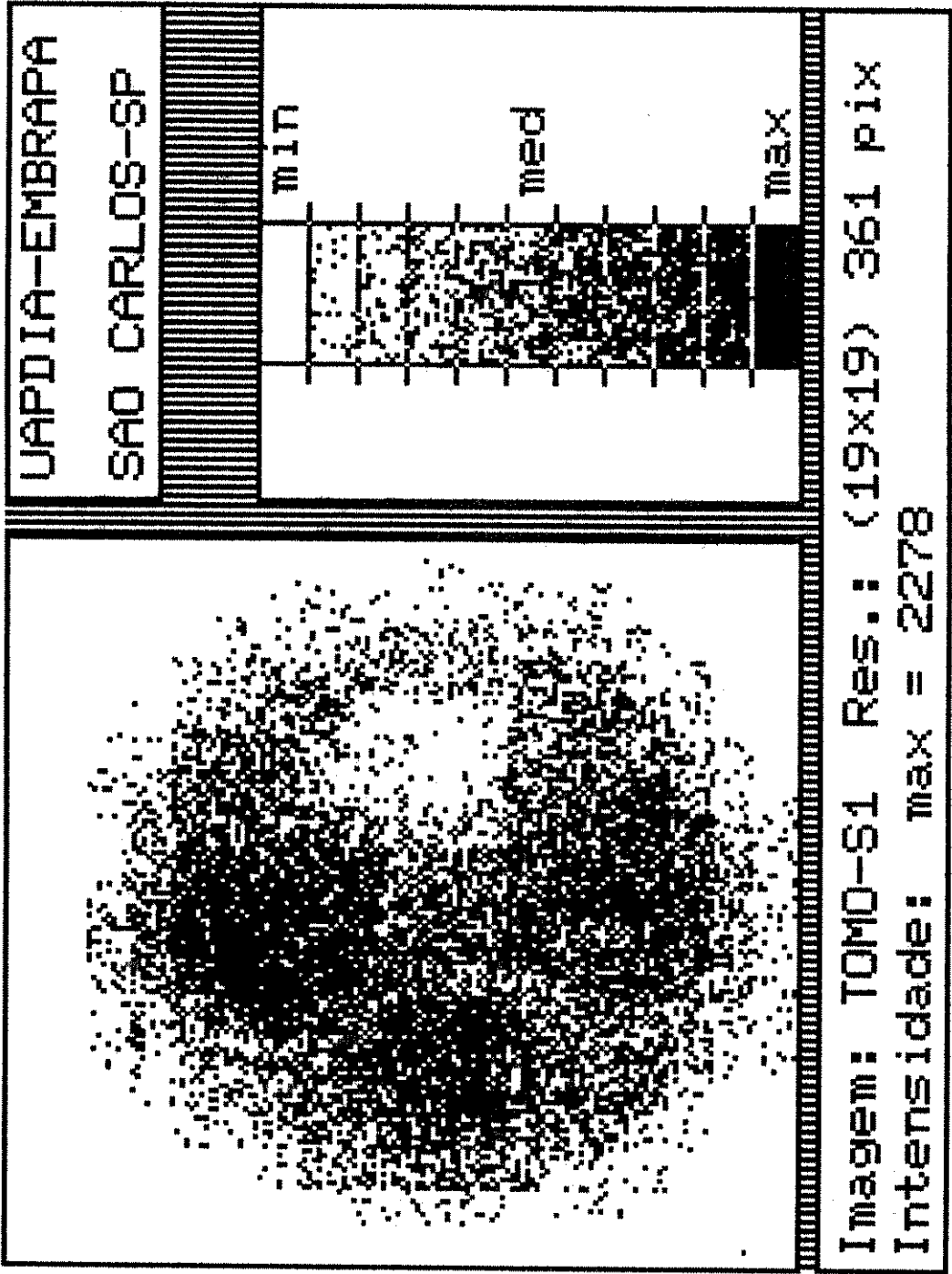


Figura (5.30) - Ilustra a imagem TOMO-S1.

5.6.3.2 - RESULTADO 2 COM SPAN DE 180° E ASSIMETRIA

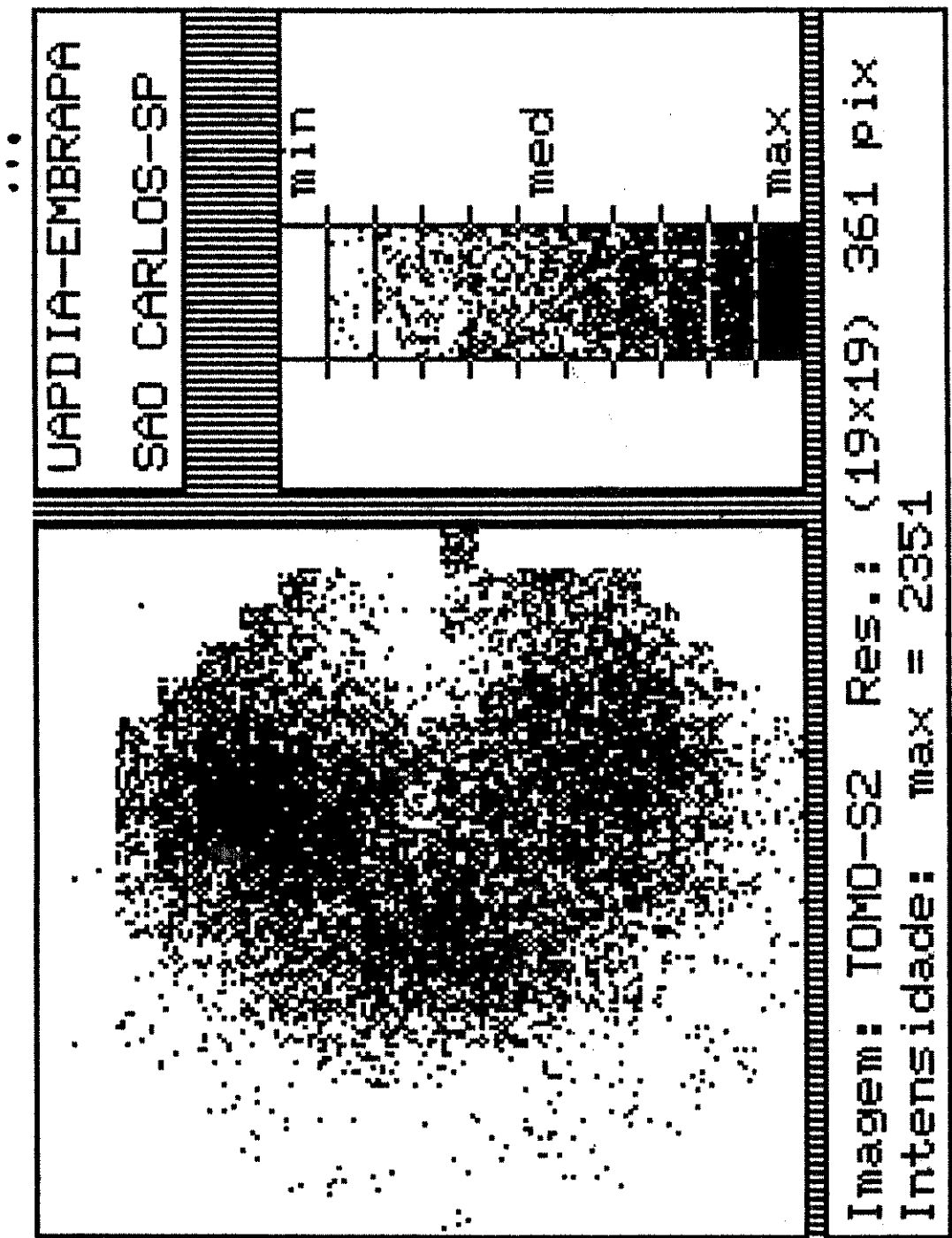


Figura (5.31) - Ilustra a imagem TOMO-S2.

5.6.3.3 - RESULTADO 3 COM SPAN DE 360° E ASSIMETRIA

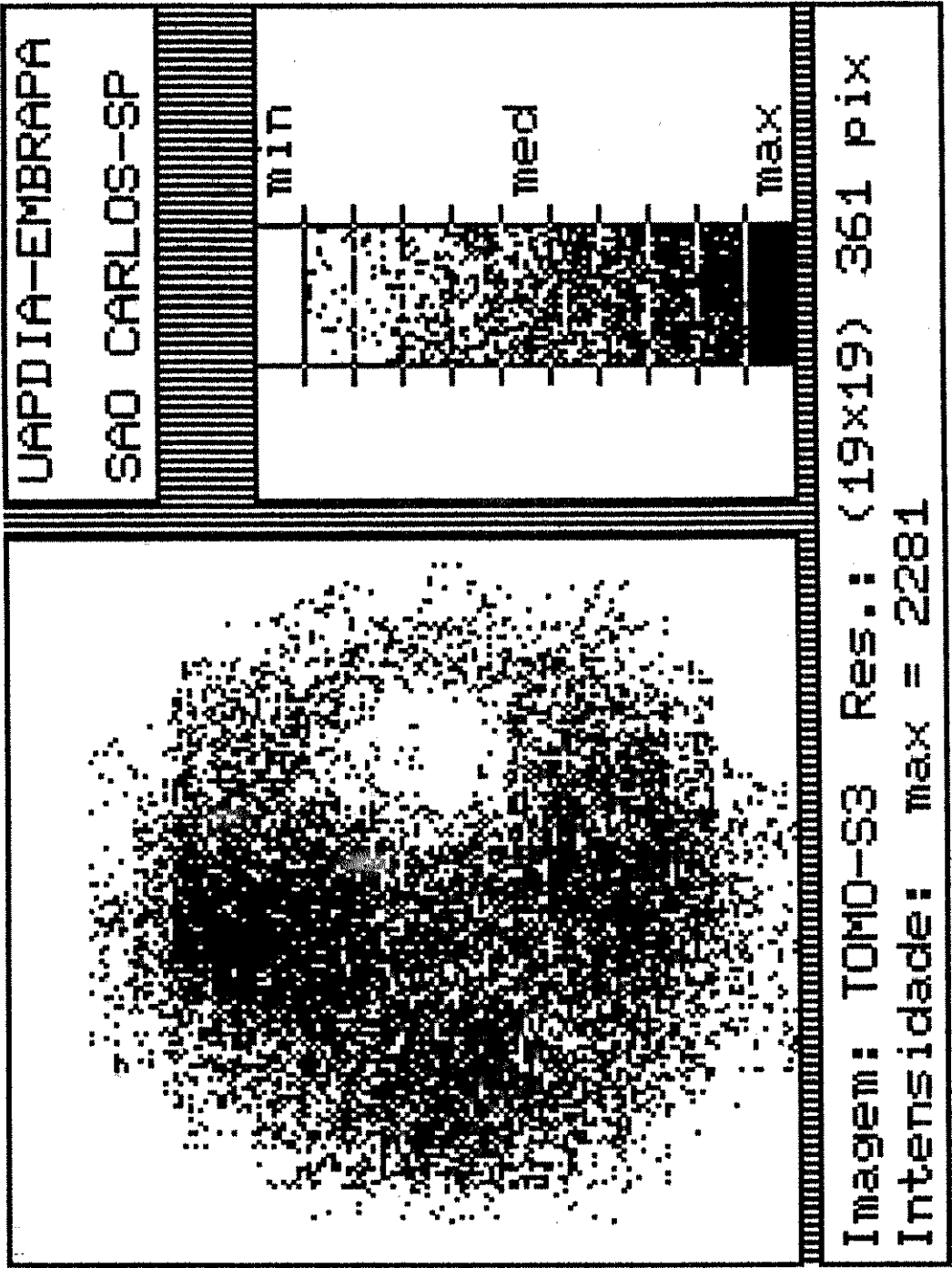


Figura (5.32) - Ilustra a imagem TOMO-S3.

5.7 - ANÁLISE COMPARATIVA DOS VALORES DOS COEFICIENTES DE ATENUAÇÃO LINEAR DE AMOSTRAS DE SOLO E ÁGUA OBTIDOS PELO MÉTODO DE TRANSMISSÃO DIRETA DE RAIO-GAMA E POR MINITOMOGRAFIA

Com o objetivo de analisar comparativamente os valores dos coeficientes de atenuação linear de amostras de solo e água, obtidos pelo método de transmissão direta de raio- γ e por minitomografia, elaborou-se o experimento abaixo.

Desta forma, foi considerado um Phantom contendo solo com coeficiente de atenuação linear $\mu_{\text{solo}} = 0,37\text{cm}^{-1}$ com densidade $\rho = 1,2\text{g/cm}^3$ e água com coeficiente de atenuação linear $\mu_{\text{água}} = 0,203\text{cm}^{-1}$ (50).

Para os experimentos os seguintes dados foram considerados:

- Translação total 60mm
- Passo de translação 1mm
- Rotação total 180°
- Passo de rotação 3°
- Energia 59,9KeV
- Tempo de contagem 5 segundos

5.7.1 - IMAGEM TOMO-PK

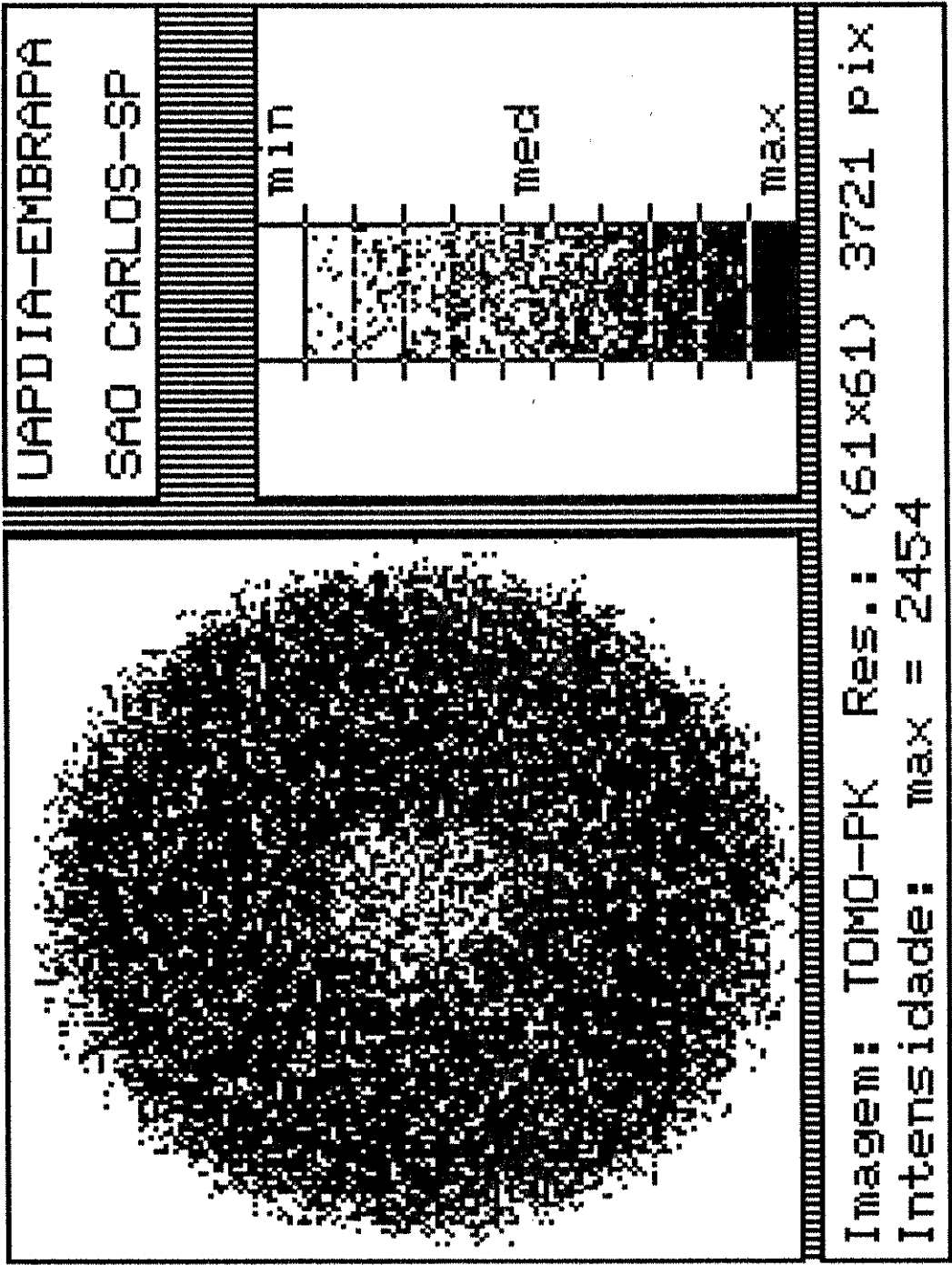


Figura (5.33) - Imagem TOMO-PK.

5.7.2 - RESULTADO CONSIDERANDO DUAS PROJEÇÕES $\theta = 0^\circ$ E $\theta = 90^\circ$

A Figura (5.34) mostra $\mu(\ell, \theta)$ como função de ℓ , com os valores medidos pelo método de transmissão direta e pelo minitomógrafo de raio-X e raio- γ .

Para as projeções de ângulo $\theta = 0^\circ$ e $\theta = 90^\circ$, o desvio padrão para o solo foi de $\sigma_{\text{solo}} = \pm(0,030)$, e para a água foi de $\sigma_{\text{água}} = \pm(0,027)$.

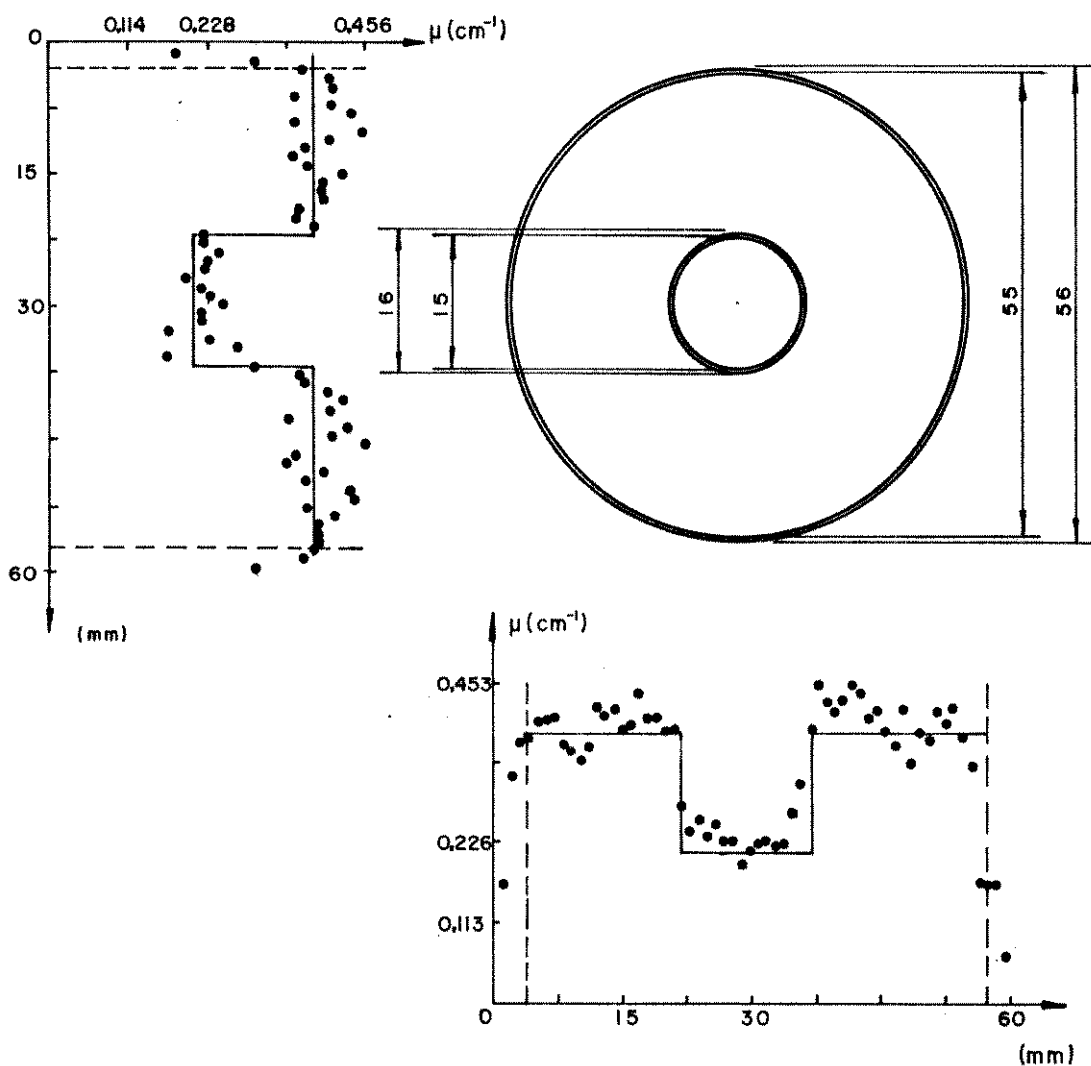


Figura (5.34) - $\mu(\ell, \theta)$ como função de ℓ ; projeções de ângulo $\theta = 0^\circ$ e $\theta = 90^\circ$

5.8 - POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO DO MINITOMÓGRAFO DE RAIOS-X E RAIOS-GAMA EM CAMPOS DE ORIGEM MULTIDISCIPLINAR

5.8.1 - MEDIDAS DO CONTEÚDO DE ÁGUA EM SOLO

Uma das possibilidades de aplicação do minitomógrafo de raios-X e raios- γ , conforme mostrada por Crestana⁽²⁵⁾, é em estudos da Física da Água no Solo.

Assim, foram realizadas cinco tomografias denominadas ÁGUA, TOMO-U1, TOMO-U2, TOMO-U3 e TOMO-U4 com Phantoms contendo somente água, água mais solo e solo seco ao ar, objetivando definir uma calibração do sistema com a determinação do coeficiente de atenuação linear da água em 59,9KeV, e uma curva de calibração coeficiente de atenuação linear $\mu(\text{cm}^{-1})$ versus conteúdo de água no solo $\theta(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$.

5.8.1.1 - TOMOGRAFIA ÁGUA

Fig. 5.35

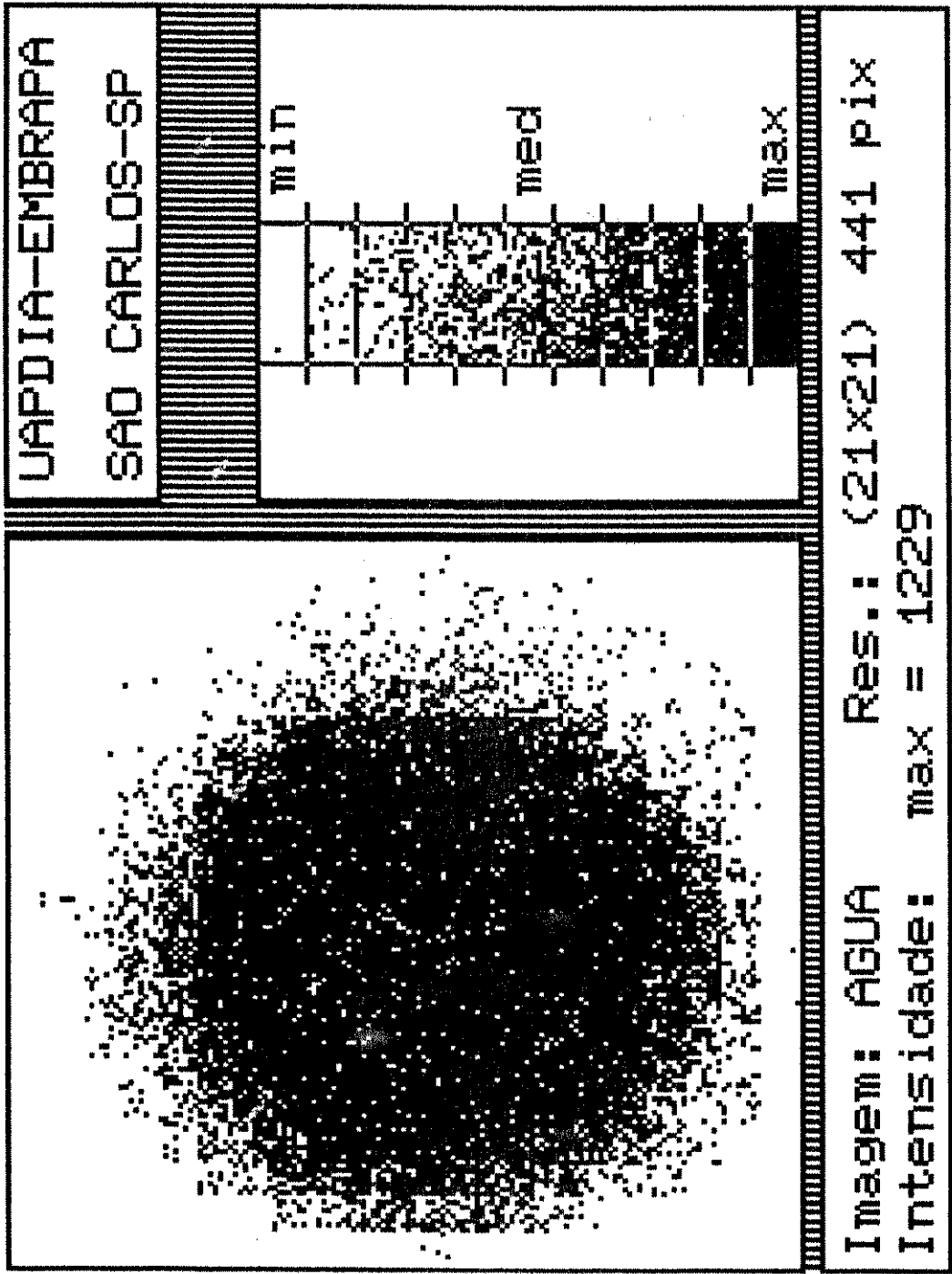


Figura (5.35) - Imagem Água;
 $\hat{\rho}_{\text{Água}}^{\text{MT}} = 0,1817\text{cm}^{-1}$ com desvio padrão de $\pm(0,0002)$

5.8.1.2. - TOMOGRAFIA TOMO-U1

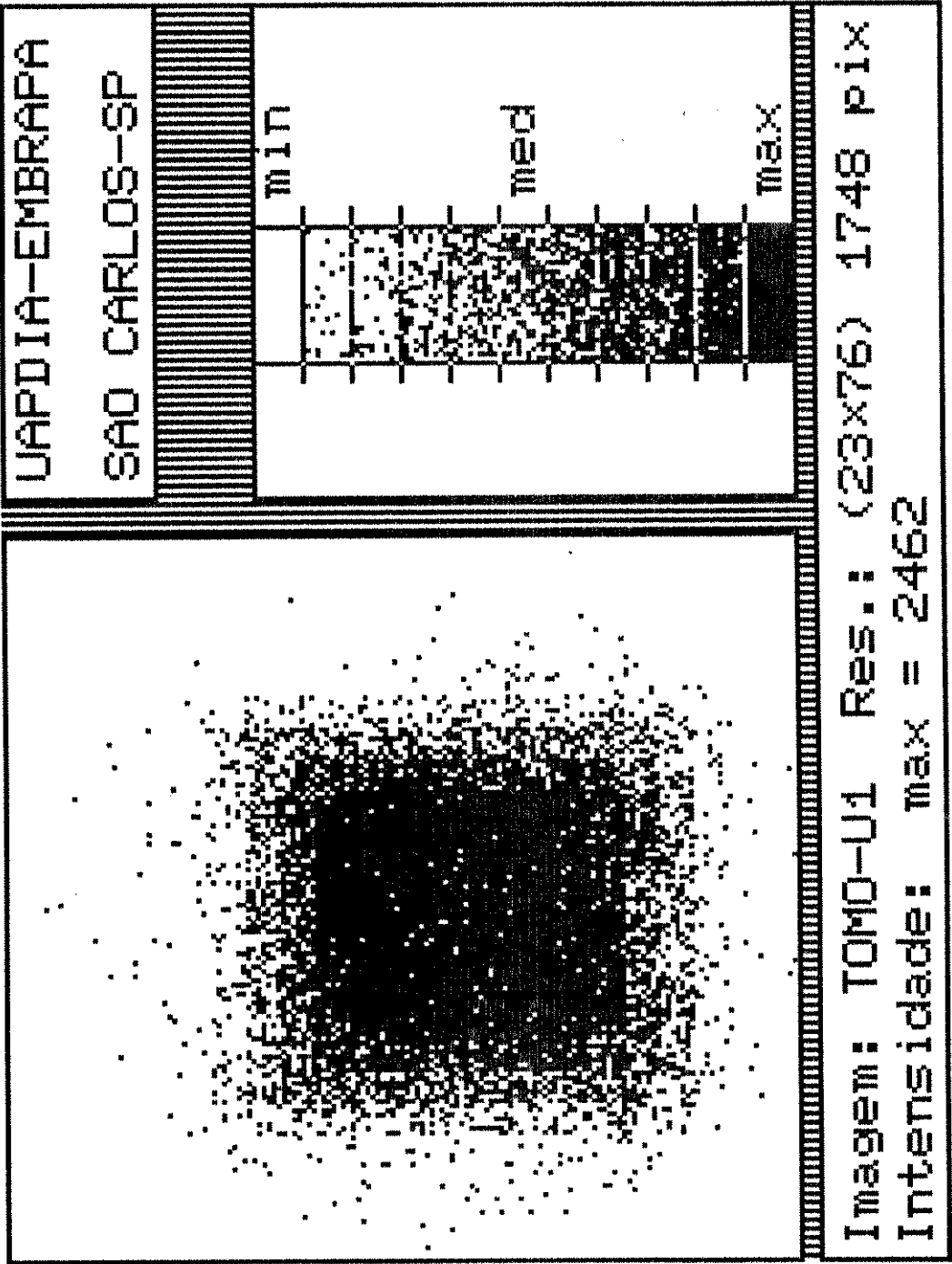


Figura (5.36) - Imagem TOMO-U1.
O conteúdo de água presente é de 0,8%; $\hat{\mu} = 0,4294\text{cm}^{-1}$; $E = 59,9\text{KeV}$

5.8.1.3. - TOMOGRAFIA TOMO-U2

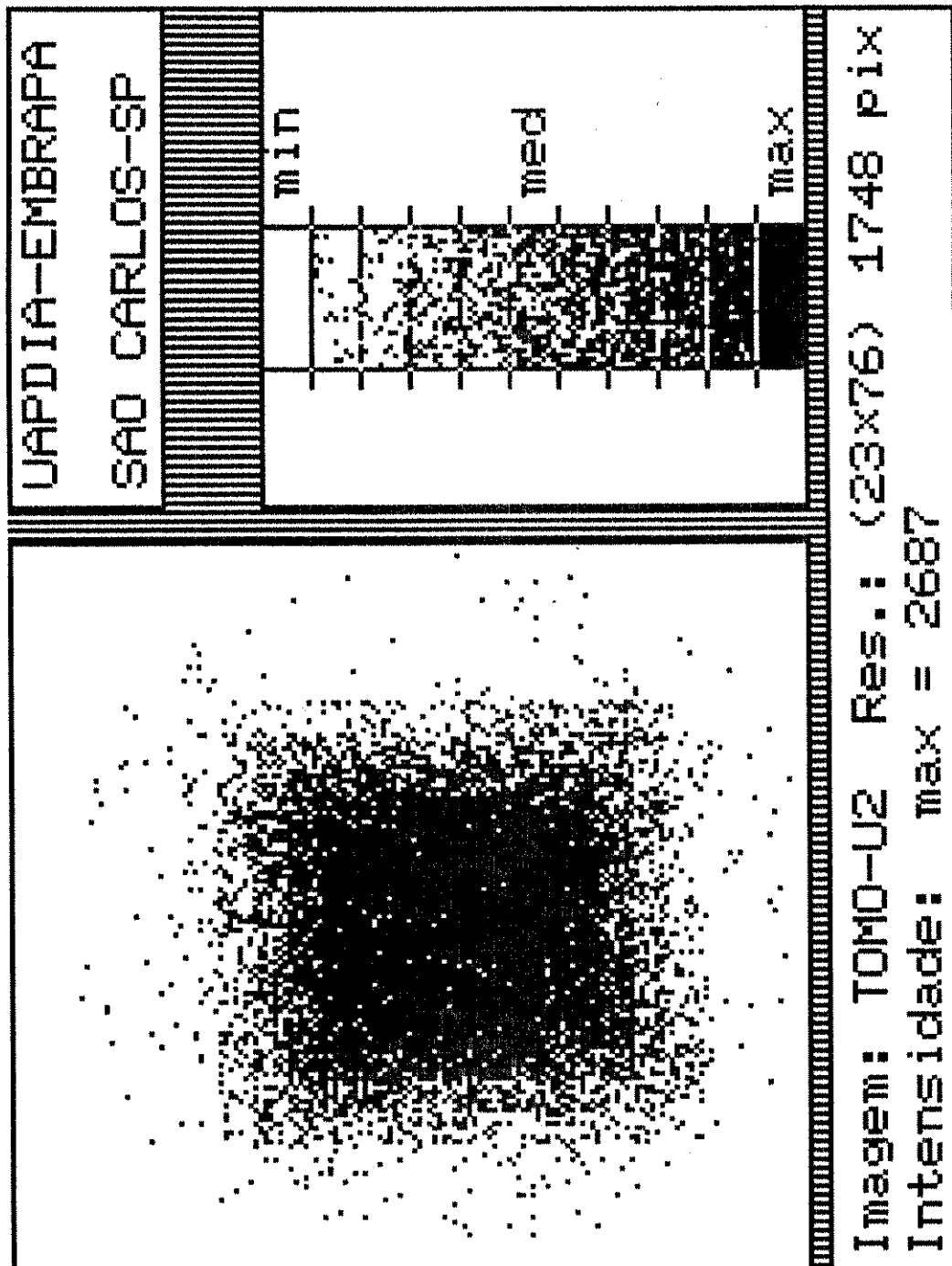


Figura (5.37) - Imagem Tomo-U2.
O conteúdo de água presente é de 10%; $\hat{\mu} = 0,4516 \text{ cm}^{-1}$; $E = 59,9 \text{ KeV}$

5.8.1.4 - TOMOGRAFIA TOMO-U3

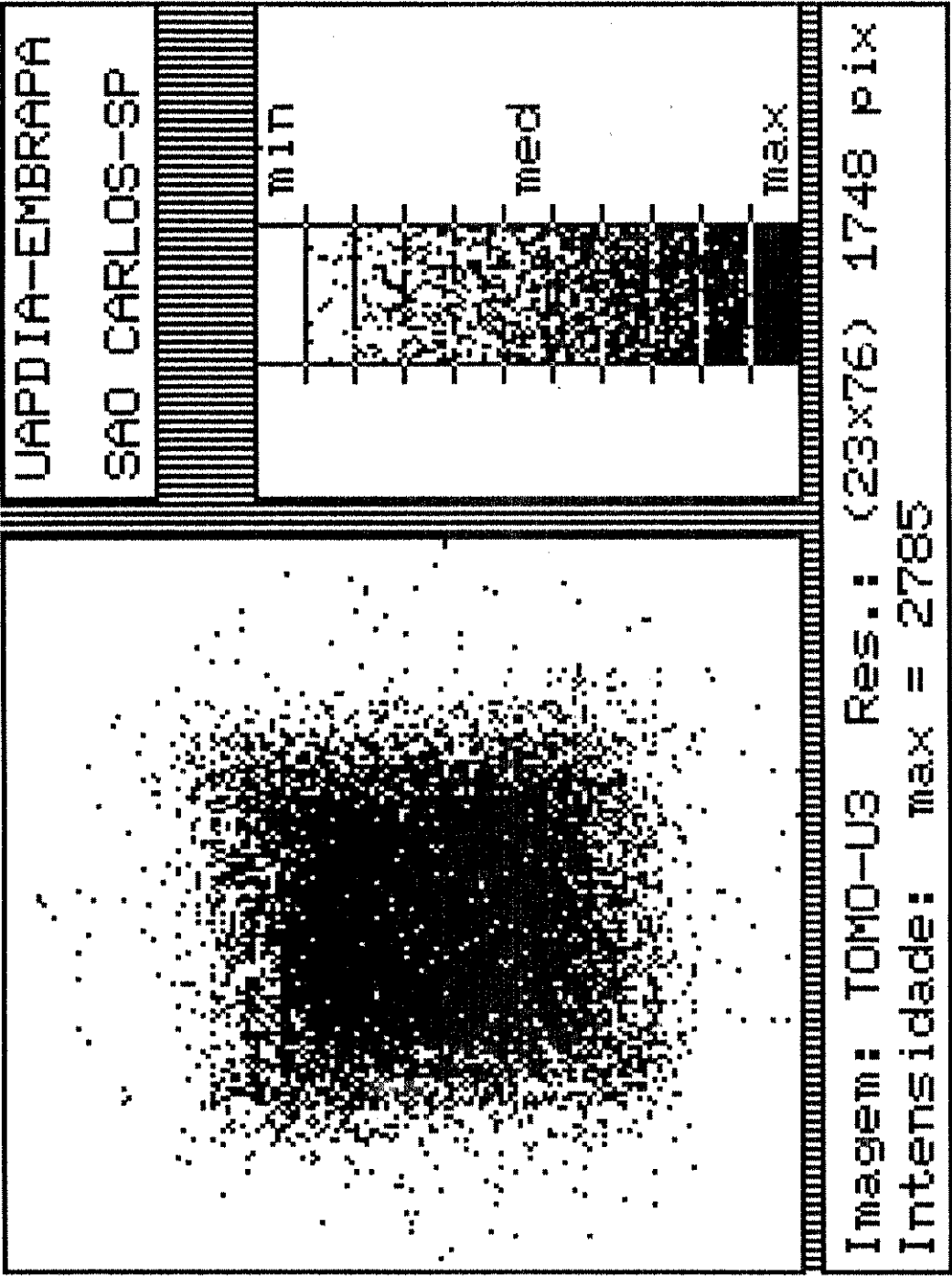


Figura (5.38) - Imagem Tomo-U3.
O conteúdo de água presente é de 20%; $\hat{\mu} = 0,4634 \text{ cm}^{-1}$; $E = 59,9 \text{ KeV}$

5.8.1.5 - TOMOGRAFIA TOMO-U4

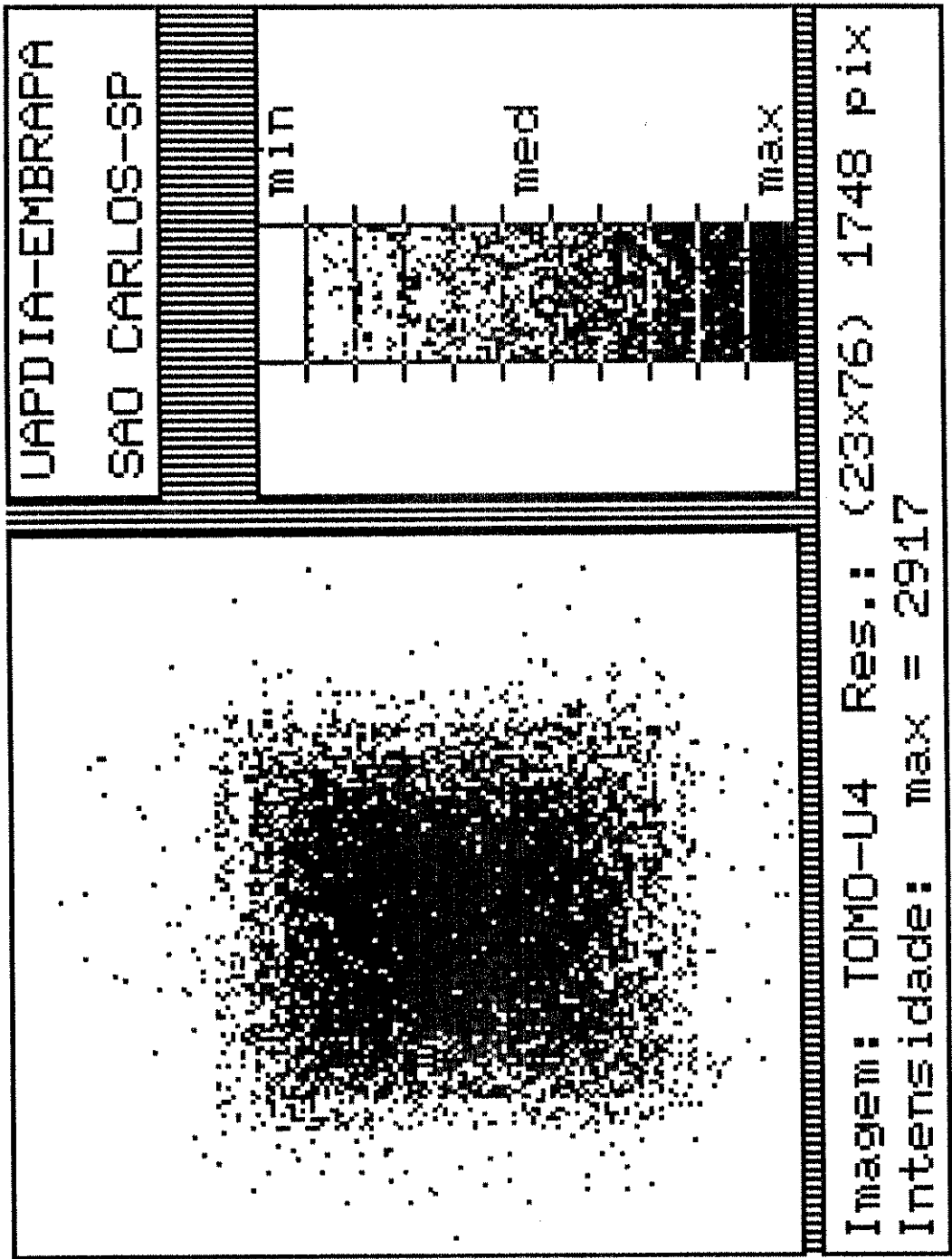


Figura (5.39) - Imagem Tomo-U4.
O conteúdo de água presente é de 30%; $\hat{\mu} = 0,4812 \text{ cm}^{-1}$; $E = 59,9 \text{ KeV}$

5.8.1.6 - CURVA DE CALIBRAÇÃO COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO LINEAR $\mu(\text{cm}^{-1})$ VERSUS CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO $\theta(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$

A partir dos dados decorrentes dos itens 5.8.1.2, 5.8.1.3, 5.8.1.4 e 5.8.1.5 tem-se a curva de calibração, coeficiente de atenuação linear $\mu(\text{cm}^{-1})$ versus conteúdo de água no solo $\theta(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$.

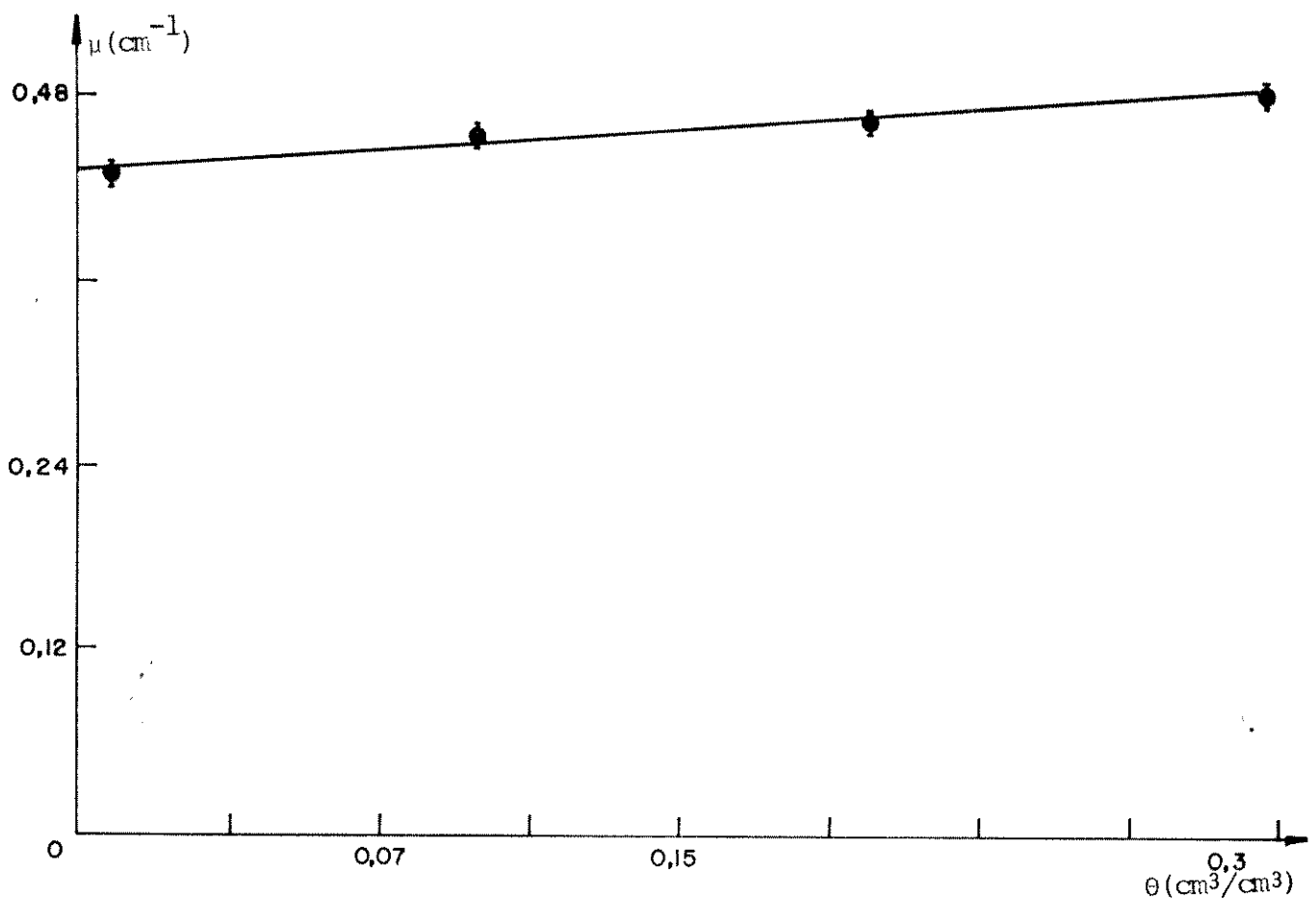


Figura (5.40) - Curva de calibração
 $\mu(\text{cm}^{-1})$ versus $\theta(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$
 $\mu = 0,17\theta + 0,43; r^2 = 0,9829$

5.8.2 - MEDIDA DA DENSIDADE DE SOLOS

Uma outra possibilidade de aplicação é na medida de densidades de solos.

Desta forma foi realizada uma tomografia TOMO-CP com um Phantom contendo diferentes amostras de solo seco com diferentes densidades.

Os seguintes parâmetros foram utilizados neste experimento:

- Translação total 64mm
- Passo de translação 2mm
- Rotação total 180°
- Passo de rotação 5,6°
- Tempo de contagem 10 segundos
- Energia 59,9KeV

5.8.2.1 - TOMOGRAFIA TOMO-CP

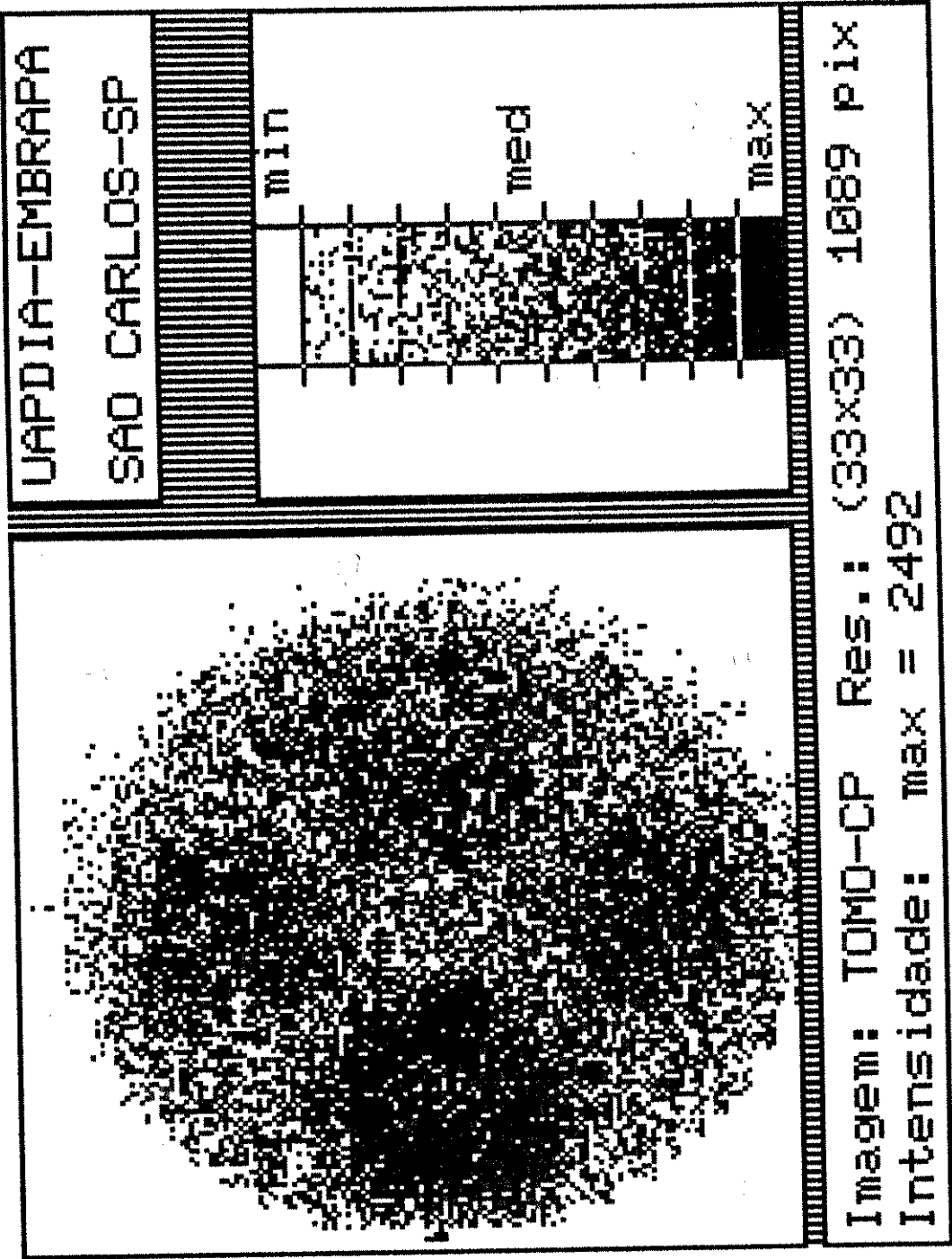


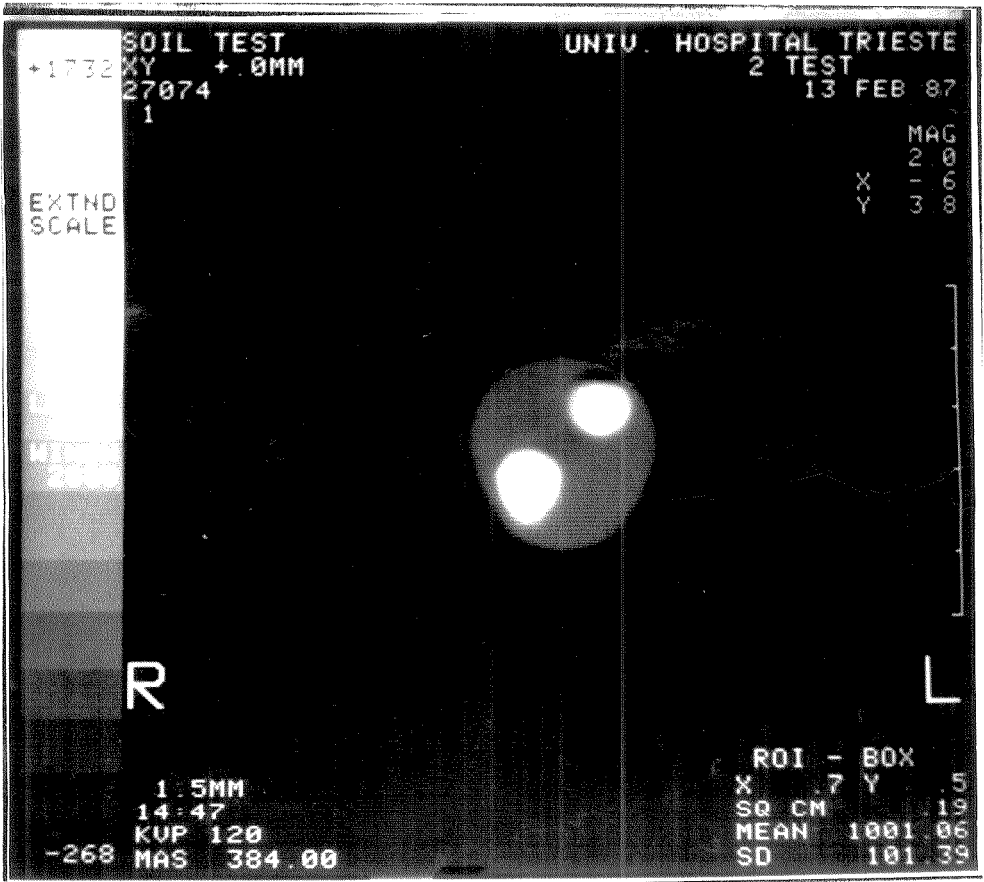
Figura (5.41) - Imagem TOMO-CP: solo com diferentes densidades
 $\hat{\rho}_1 = 0,3765\text{cm}^{-1}$ ($\rho_1 = 1,015\text{g/cm}^3$); $\hat{\rho}_2 = 0,3970\text{cm}^{-1}$ ($\rho_2 = 1,311\text{g/cm}^3$);
 $\hat{\rho}_3 = 0,4081\text{cm}^{-1}$ ($\rho_3 = 1,350\text{g/cm}^3$); $\hat{\rho}_4 = 0,4597\text{cm}^{-1}$ ($\rho_4 = 1,382\text{g/cm}^3$).

5.9 - USO DO TOMÓGRAFO MÉDICO GECT/T8800
E IMPLEMENTAÇÃO DE TOMOGRAFIAS COM PHANTOMS
PARA ESTUDOS COMPARATIVOS

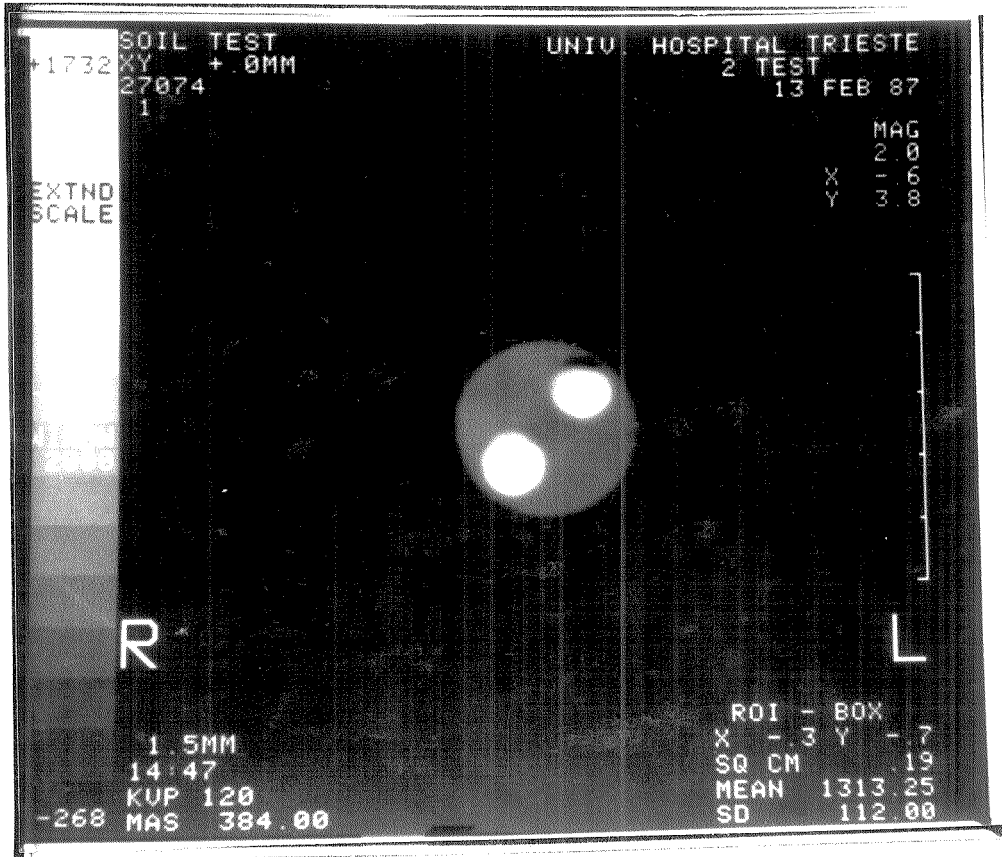
Utilizando-se o tomógrafo médico modelo GECT/T8800 do hospital de Trieste, Itália ("Ospedale Catinara") elaborou-se tomografias com Phantoms para estudos comparativos.

Apresentamos em particular um dos resultados, o qual pode ser comparado com a tomografia TOMO-PZ apresentada na Figura (5.13).

As Figuras (5.42a) e (5.42b) apresentam as imagens tomográficas com o tomógrafo médico.



(a)



(b)

Figura (5.42) - Imagens com o tomógrafo médico GECT/T8800

24X24 SAMPLE FOR RUN 27074, SLICE # 1
 CENTER - X = -4.4, Y = 2.6
 145 146 837 959 979 952 886 823 709 485 226 94 78 100 115 122 130 129 122 162 163 164 165 166 167 168
 117 460 837 959 979 952 886 823 709 485 226 94 78 100 115 122 130 129 122 162 163 164 165 166 167 168
 113 792 1055 1095 1116 1060 971 912 879 800 536 210 100 100 126 123 128 122 123 121 122 122 122 125 124 117
 119 1078 1173 1183 1201 1155 1088 1041 1007 976 798 396 139 113 123 126 122 126 121 122 120 124 122 117 121
 120 1287 1284 1276 1270 1254 1208 1165 1144 1123 970 541 203 123 130 132 129 123 122 120 125 120 120 114 125
 121 1341 1350 1357 1346 1340 1338 1305 1275 1230 1056 615 227 133 128 131 125 123 120 123 122 124 119 115 116
 122 1263 1368 1415 1398 1403 1421 1383 1336 1273 1051 558 203 137 131 126 129 123 124 119 117 121 121 118
 123 1221 1407 1454 1428 1419 1420 1378 1309 1228 939 423 162 132 127 130 125 124 125 126 120 119 124 119 118
 124 1094 1411 1482 1464 1432 1386 1317 1193 1029 692 284 141 133 132 123 124 121 119 130 124 122 121 113 120
 125 732 1181 1420 1481 1458 1363 1216 987 689 377 186 127 136 127 124 121 125 120 127 120 120 118 121 121
 126 297 652 1039 1249 1282 1174 951 640 352 194 154 125 129 121 123 123 122 128 119 77 47 316 550 928
 127 104 216 416 602 641 572 439 273 169 154 135 124 123 118 120 120 118 122 123 117 115 110 32 188 545
 128 59 63 128 160 171 155 155 134 131 127 125 125 118 120 120 118 122 123 117 115 110 32 188 545
 129 516 185 9 85 101 114 116 125 126 121 123 129 121 123 124 127 125 122 111 73 32 222 515 787 964 1023
 130 922 684 371 136 12 91 117 123 130 131 128 128 124 127 125 122 111 73 32 222 515 787 964 1023
 131 1023 992 861 646 400 192 54 23 70 92 100 93 94 85 45 17 124 301 520 754 937 1010 1024 1024
 132 1024 1024 1024 981 881 730 582 437 332 260 222 213 237 280 380 513 671 824 939 1011 1024 1024 1024 1024
 133 1024 1024 1024 1020 1009 956 955 906 852 794 787 771 787 828 883 942 981 1005 1018 1022 1007 1023 1024 1024
 134 1024 1024 1020 1020 1021 1022 1018 998 1015 1013 1004 1005 1005 1011 1018 1020 1020 1018 1019 1009 1016 1021 1011 1012
 135 1019 1018 1019 1017 1014 1013 1015 1016 1014 1018 1024 1021 1020 1014 1014 1014 1013 1014 1016 1012 1022 1015 1012 1023 1011
 136 1021 1022 1024 1024 1024 1024 1024 1019 1023 1023 1023 1023 1023 1017 1012 1012 1014 1016 1016 1012 1017 1012 1020
 137 1017 1019 1022 1020 1016 1018 1019 1016 1017 1016 1018 1018 1017 1018 1020 1014 1014 1015 1015 1016 1016 1013 1008
 138 1016 1022 1017 1015 1019 1020 1014 1020 1019 1014 1015 1020 1022 1021 1024 1019 1015 1017 1021 1023 1019 1017 1012 1018
 139 1018 1024 1018 1023 1014 1017 1021 1021 1020 1015 1016 1016 1017 1019 1017 1022 1020 1015 1016 1017 1015 1015 1015 1017
 140 1015 1016 1024 1017 1021 1011 1023 1024 1019 1012 1022 1018 1017 1017 1020 1018 1017 1021 1023 1018 1015 1013 1014

RUN # = 27074 SLICE # = 1
 CENTER: X = -4.36 CM Y = 2.60 CM
 576 VALUES: MEAN = -152.8310 STAND DEV = 777.0208

CAPÍTULO VI

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

6.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentaremos uma síntese da discussão dos vários resultados e conclusões obtidas durante o período de pesquisa e desenvolvimento do minitomógrafo de raio-X e raio- γ computadorizado para aplicações multidisciplinares.

Por outro lado, apresentaremos também algumas sugestões para trabalhos futuros uma vez que tal pesquisa assume aspectos amplos com relação às possibilidades de novas implementações decorrentes dos constantes avanços tecnológicos.

6.2 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.2.1 - CONSIDERAÇÕES QUANTO AO DESEMPENHO DO MINITOMÓGRAFO E COMPARAÇÕES COM O TOMÓGRAFO MÉDICO

- Conforme analisado na secção 5.3.1, devido ao feixe de fótons apresentar a divergência de $\theta_d = 0,0399$ radianos, o tamanho mínimo de pixel imposto pelo minitomógrafo é de 1mm razão pela qual o passo de translação deve ser $> 1\text{mm}$.
- Qualitativamente, o número de projeções é um parâmetro importante na qualidade de uma imagem e, segundo Brooks e Di Chiro⁽⁵¹⁾, o número de projeções deve ser pelo menos $\frac{\pi}{4}$ vezes o número de amostras por projeção.

O arquivo de dados (NOME.DATA) do minitomógrafo apresenta dimensão máxima de (81X79) possibilitando assim um conjunto máximo de 79 projeções com no máximo 81 amostras por projeção.

O arquivo de dados de um tomógrafo médico possibilita dimensões da ordem de (512X512) ou maiores.

Para o minitomógrafo, a imagem TOMO-R0 com 78 projeções de 37 amostras, Figura (5.22), apresenta-se qualitativamente melhor do que a imagem TOMO-R1, apresentada na Figura (5.23), a qual foi processada com 37 projeções de 37 amostras. Porém, uma vez que as imagens geradas com o minitomógrafo não apresentam o mesmo padrão de qualidade em comparação com as imagens geradas por um tomógrafo médico (com pixel da ordem de 0,25mm), veja Figuras (5.13), (5.42a) e (5.42b), ocorre a necessidade do uso de ferramentas, as quais possibilitem quantificar com exatidão as imagens obtidas com o minitomógrafo (vide seção 6.6.2).

- O tempo total gasto pelo minitomógrafo para efetuar a minitomografia TOMO-PZ, foi de aproximadamente 6 horas. O tempo total gasto pelo tomógrafo médico GECT/T8800 para realizar a tomografia do mesmo Phantom considerado (conforme seção 5.9), foi de aproximadamente 5 minutos.
- O custo do minitomógrafo representa $\frac{1}{50}$ do custo de um tomógrafo médico.

6.2.2 - QUANTO À QUALIDADE DAS IMAGENS

- O uso da técnica de CTF^(*) utilizada por Taylor e R. Lupton⁽⁵²⁾ em estudos de resolução e artefatos, em sistemas tomográficos mostrou-se como uma ferramenta bastante útil e eficaz para quantificar a qualidade das imagens geradas com o uso do minitomógrafo de raio-X e raio-γ, conforme análises feitas nas secções 5.6.1 e 5.6.2.
- Conforme analisado na secção 5.6.1, incrementando a largura do feixe de fótons de 2,0 para 4,0mm, o tamanho do conjunto de orifícios resolvidos é incrementado por um fator de aproximadamente dois [Figura (5.21)].

Por outro lado, reduzindo a largura do feixe de 2,0 para 1,0mm, a resolução espacial é melhorada de aproximadamente um fator 0,5. Tais resultados mostram a alta dependência da resolução espacial com a variação do raio do feixe de fótons.

- Conforme analisado na secção 5.6.2, uma substancial perda de resolução espacial para pixel com 3mm foi confirmada [Figura (5.29)]. por outro lado para a largura de pixel de 1mm, obteve-se melhor resolução espacial e o contraste da imagem não foi alterado pela troca no tamanho do pixel.
- Conforme analisado na secção 5.6.3, as tomografias TOMO-S1, TOMO-S2 e TOMO-S3, mostram que se o feixe de fótons for assimétrico com relação ao centro de rotação, a utilização de um span de 360° pode suprimir artefatos. Por outro lado, con

(*) CTF - Função Transferência de Contraste

clui-se também com este experimento, a importância do perfeito ajuste mecânico da mesa tomográfica.

- Conforme analisado na secção 5.5, a tomografia TOMO-PZ, com desvio padrão de $(10000)^{\frac{1}{2}}$, com relação ao contraste, apresentou qualitativamente melhor qualidade de imagem do que a tomografia TOMO-PY, com desvio padrão de $(1000)^{\frac{1}{2}}$.

6.2.3 - QUANTO AO SOFTWARE DO EQUIPAMENTO

- O uso de linguagem Pascal possibilitou técnicas de programação estruturada, bem como boa velocidade de processamento.
- O uso do Sistema U.C.S.D.Pascal, proporcionou um método operativo bastante prático e possibilitou desenvolver programas compactos.
- Os programas MTACCON, MTACREC e MTACSEC são auto-instrutivos, uma vez que sinalizam ao usuário em que ponto encontra-se o controle e o processamento, sinalizando inclusive os passos a serem seguidos para perfeita operação.

6.2.4 - QUANTO AO HARDWARE DO EQUIPAMENTO

- Os subsistemas nucleares de detecção, fonte de alta tensão, discriminador, amplificador e contadores analisados respectivamente nas secções 3.2.16, 3.2.15, 3.2.18, 3.2.17 e 3.2.19 apresentam características confiáveis quanto ao desempenho e calibração.
- A opção pela arquitetura do microprocessador 6502, trouxe vantagens quanto às facilidades de interfaceamento, velocidade de processamento e confiabilidade.
- A opção por portas de entrada e saída programáveis 6821, otimizou os circuitos de controle e interface, bem como deixa flexível o sistema para futuras implementações.
- O uso dos circuitos CMOS 4050, melhorou o FAN-OUT e FAN-IN do subsistema de controle e interface.

6.2.5 - CONCLUSÕES

- Concluimos após os testes quantitativos que o minitomógrafo funcionou adequadamente dentro do desempenho esperado, conforme resultados anteriormente descritos.
- Concluimos após os testes instrumentais em um período de 720 horas, a viabilidade do sistema em uso contínuo.

- Concluimos que o uso da técnica de CTF (Função Transferência de Contraste) utilizada por Taylor e R.Lupton⁽⁵²⁾ mostrou-se útil para quantificar a qualidade das imagens geradas com o minitomógrafo.
- Concluimos que incrementando a largura do feixe de fótons de 2,0 para 4,0mm, o tamanho do conjunto de orifícios resolvidos é incrementado por um fator de aproximadamente dois e, reduzindo a largura do feixe de 2,0 para 1,0mm, a resolução espacial é melhorada de aproximadamente um fator 0,5.
- Concluimos que uma substancial perda de resolução espacial para pixel de 3mm foi confirmada e a melhor resolução espacial foi obtida com pixel de 1mm. O contraste da imagem não foi alterado pela troca no tamanho do pixel.
- Conforme analisado na secção 5.8.1.1, concluimos que o coeficiente de atenuação linear da água pode ser medido por minitomografia com um erro da ordem de 10% e desvio padrão de $\pm(0,0002)$.
- Concluimos pela curva de calibração coeficiente de atenuação linear $\mu(\text{cm}^{-1})$ versus conteúdo de água no solo $\theta(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$ com $r^2 = 0,9626$ apresentada na Figura (5.32), a viabilidade do uso do minitomógrafo para medidas do conteúdo de água em amostras do solo.
- Concluimos, segundo o resultado apresentado na secção 5.8.2, que o minitomógrafo pode ser usado para medir densidades de amostras de solos.

6.3 - CONCLUSÃO FINAL

Com relação ao panorama de conclusões apresentadas, a presente tese representa uma contribuição dentro do contexto de pesquisas nas áreas de instrumentação eletrônica, física nuclear, automação e computação, aplicadas a uma nova área, pioneira no país, isto é, a minitomografia computadorizada aplicada em campos multidisciplinares e em particular, aplicada aos estudos da Física de Solos e Instrumentação Agropecuária.

Por outro lado, o presente trabalho contribuiu no projeto de implantação da Unidade de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária (EMBRAPA-UAPDIA, São Carlos), e vem sendo usado atualmente como ferramenta básica do projeto Tomografia Computadorizada Aplicada à Diagnose da Compactação do Solo em Culturas Agrícolas.

6.4 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

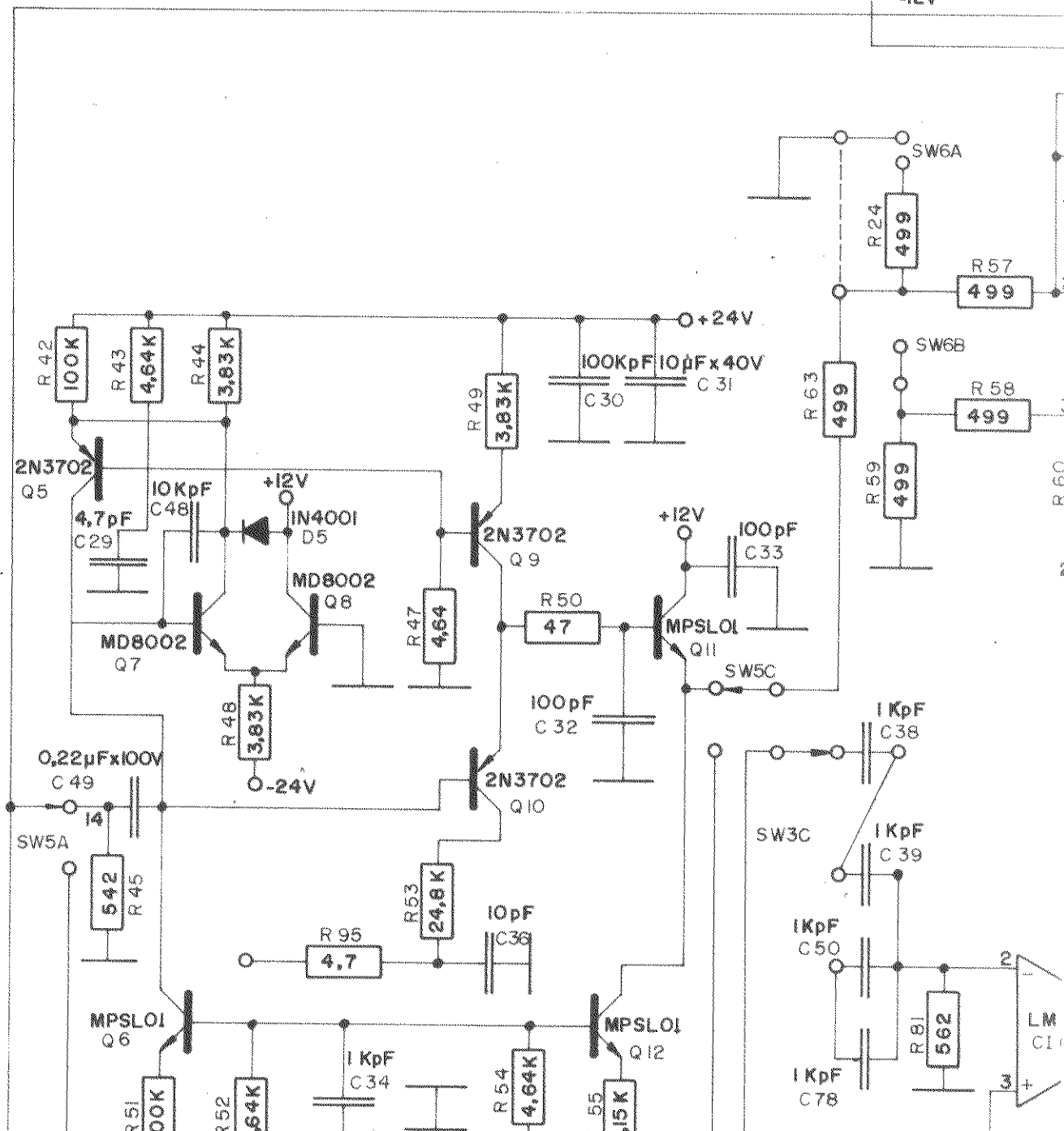
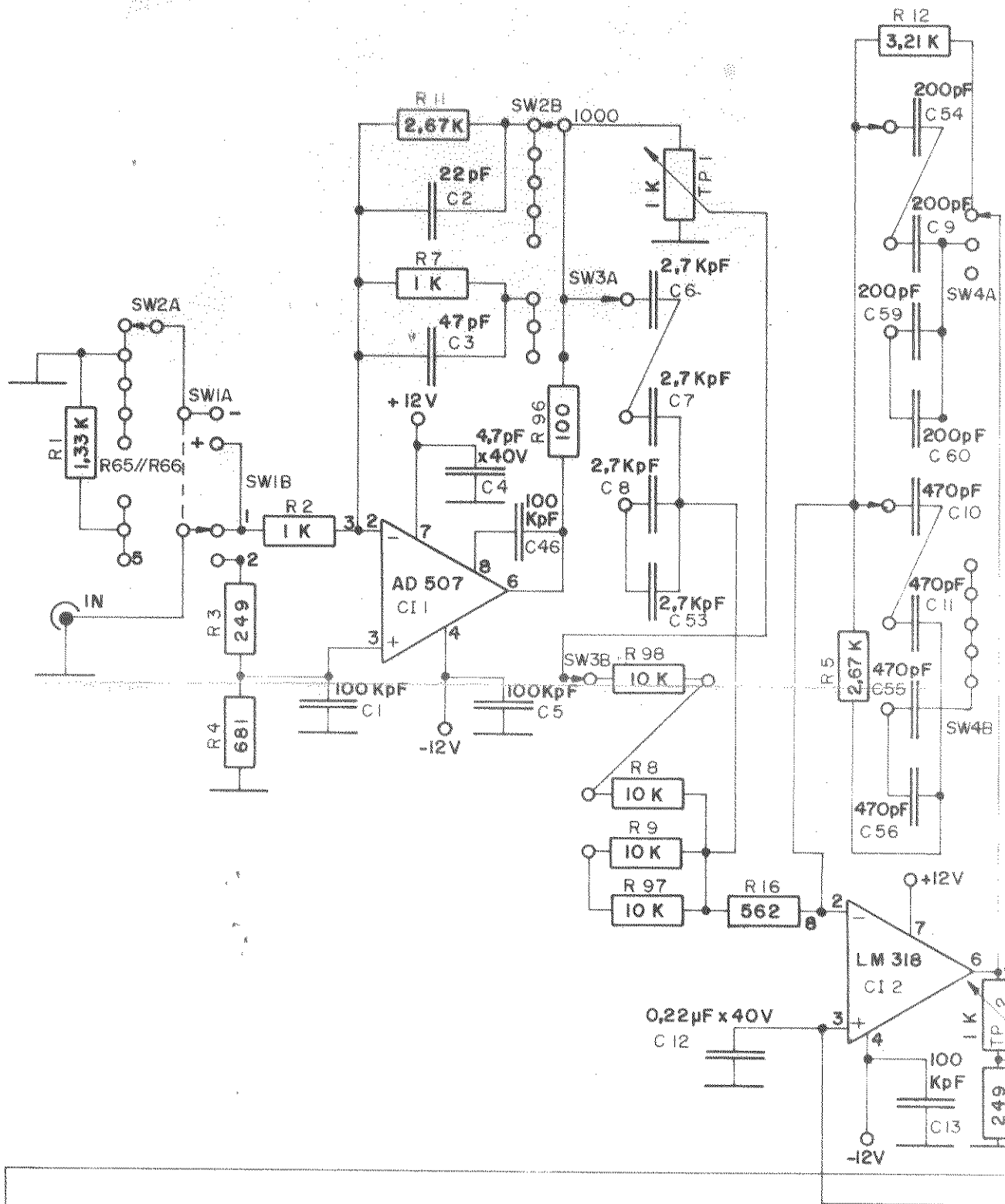
- a) Desenvolver software para obtenção de imagem com escala Hounsfield em tons de cores ou padrão de cinza.
- b) Desenvolver novos algoritmos para reconstrução de imagem estudando novas funções filtro.
- c) Reestruturar o sistema com arquitetura de 16 bits e linguagem TURBO-PASCAL ou Linguagem-C.
- d) Ampliar o sistema utilizando um feixe de múltiplos pincéis com vários detectores discretos.
- e) Aplicar a minitomografia computadorizada para estudos dos solos expansivos⁽²⁵⁾.
- f) Aplicar a minitomografia computadorizada para estudar o problema do movimento da água no solo carregada de solutos como por exemplo nutrientes⁽²⁵⁾.
- g) Aplicar a minitomografia computadorizada em áreas industriais.
- h) Estudar e adequar o sistema para aplicações em problemas dinâmicos da Física de Solos.

APÊNDICE I

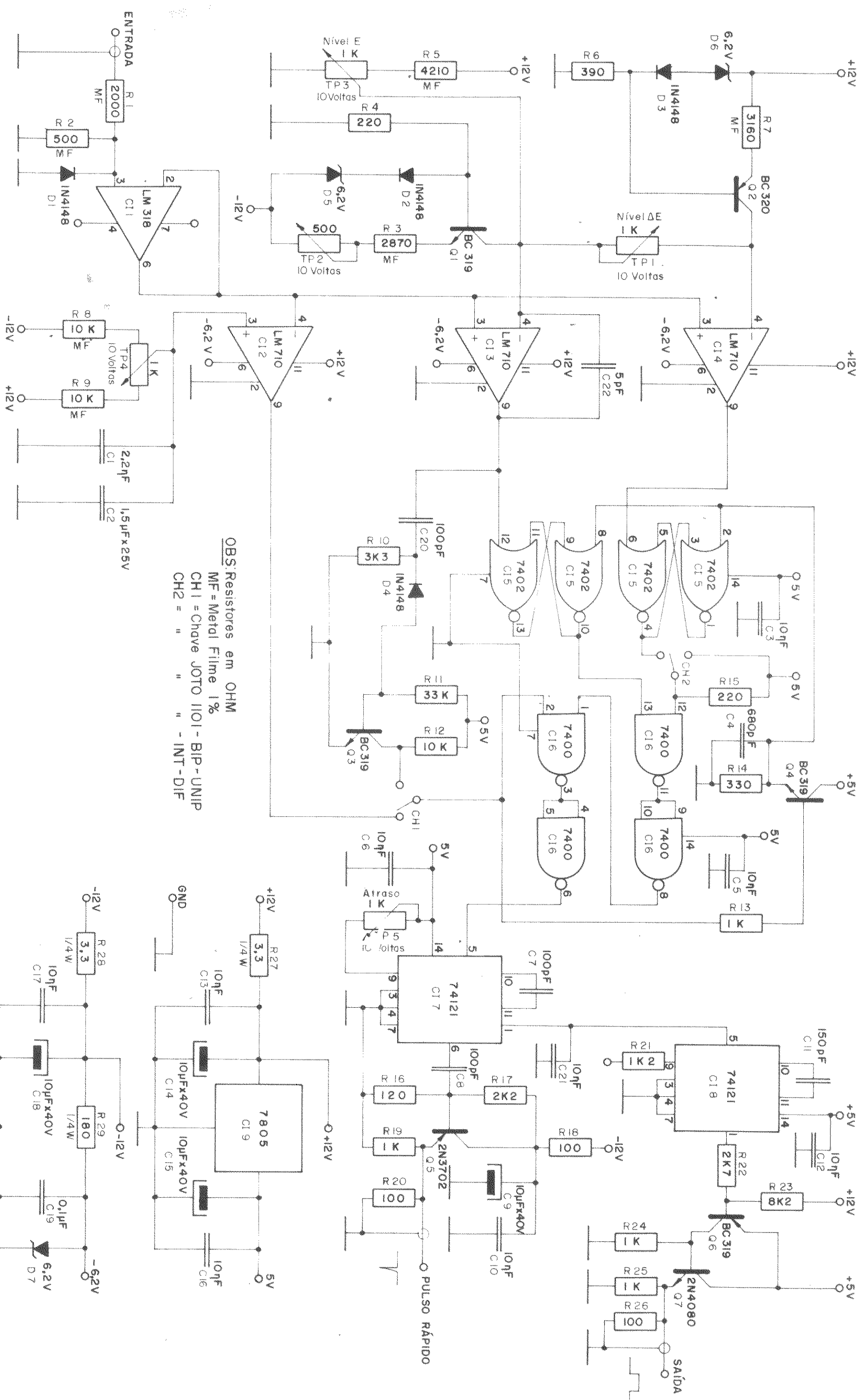
DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DOS INSTRUMENTOS DA CADEIA DE MEDIDAS NUCLEARES

A.I.1 - Diagrama esquemático para a fonte de alta tensão

A.I.2 - Diagrama esquemático do amplificador
para espectroscopia



A.I.3 - Diagrama esquemático do analisador monocanal



OBS: Resistores em OHM
MF = Metal Filme 1%
CH1 = Chave JOTO 1101 - BIP-UNIP
CH2 = " " " - INT-DIF

A.I.4 - Diagrama esquemático do contador temporizador

APÊNDICE II

MATRIZES DE DADOS

A.II.1 - MATRIZ DE DADOS TOMO-PY

2897	2940	2711	2708	2409	2054	2074	1864	1711	1668
1585	1434	1338	1328	1326	1283	1309	1398	1398	1377
1426	1394	1481	1479	1627	1558	1642	1764	1796	1942
2048	2301	2466	2791	3031	3022	3106			
3001	2835	2796	2685	2441	2185	1957	1914	1821	1745
1620	1460	1341	1420	1305	1285	1274	1323	1418	1381
1426	1430	1391	1522	1521	1629	1748	1850	1927	1988
2119	2285	2465	2800	2923	3039	2951			
2958	2922	2845	2551	2284	2234	1994	1845	1889	1701
1624	1527	1424	1291	1314	1356	1343	1352	1342	1386
1425	1406	1448	1533	1530	1573	1702	1817	1889	1948
2176	2231	2481	2779	2915	3013	3059			
2953	3024	2853	2666	2410	2151	2017	1949	1832	1698
1664	1481	1385	1339	1303	1310	1320	1229	1312	1346
1368	1421	1470	1430	1520	1555	1736	1762	1916	1930
2018	2230	2492	2734	2975	3015	3044			
2912	2933	2896	2709	2415	2167	1972	1928	1805	1726
1609	1494	1398	1416	1306	1247	1294	1306	1289	1348
1414	1390	1502	1521	1588	1620	1731	1827	1785	1992
2135	2245	2417	2786	2936	2956	3091			
3019	2921	2816	2691	2461	2201	2067	1927	1854	1720
1789	1598	1471	1389	1341	1328	1260	1243	1264	1323
1411	1398	1388	1573	1589	1641	1729	1802	1813	1945
2124	2251	2427	2770	2894	3049	3083			
2990	3067	2890	2730	2406	2164	2055	1918	1756	1850
1648	1545	1556	1408	1331	1253	1260	1205	1234	1262
1339	1425	1455	1536	1600	1675	1691	1858	1844	1944
2059	2271	2417	2710	2921	2960	2980			
2991	2939	2842	2785	2487	2210	2049	1944	1825	1768
1688	1570	1522	1472	1352	1282	1281	1183	1288	1263
1323	1453	1514	1502	1595	1691	1688	1807	1850	2016
2055	2185	2417	2786	2974	3032	2983			

2912	2934	2757	2738	2444	2141	2079	2015	1885	1800
1667	1658	1568	1455	1384	1246	1167	1222	1254	1242
1270	1398	1480	1509	1549	1641	1768	1811	1867	1940
2040	2279	2450	2695	2909	2944	2936			
2948	2889	2947	2762	2527	2172	2029	1931	1756	1802
1673	1609	1524	1436	1386	1302	1237	1197	1225	1263
1213	1480	1439	1615	1581	1621	1745	1754	1904	1975
2030	2243	2376	2664	2867	2964	3032			
3103	2943	2883	2731	2457	2274	1976	2062	1820	1774
1702	1597	1568	1502	1362	1325	1125	1214	1225	1256
1307	1381	1465	1565	1635	1750	1712	1812	1806	1923
1993	2199	2482	2562	2869	3016	3042			
2928	2909	2781	2766	2495	2182	1986	1923	1840	1863
1767	1684	1554	1491	1349	1251	1208	1194	1265	1201
1335	1321	1482	1609	1645	1661	1714	1781	1874	2010
2085	2212	2500	2575	2846	3021	2946			
3086	2852	2800	2710	2567	2189	2075	1854	1815	1727
1766	1696	1574	1618	1389	1265	1217	1226	1183	1181
1317	1350	1450	1556	1605	1669	1708	1809	1866	1997
2049	2156	2452	2721	2907	3016	2988			
3044	2908	2892	2749	2538	2213	1999	1864	1800	1850
1806	1670	1634	1548	1410	1333	1206	1174	1190	1210
1233	1355	1413	1554	1646	1706	1776	1778	1869	1870
2024	2195	2354	2633	2881	2943	2985			
2914	2967	2869	2688	2484	2240	2121	1983	1806	1844
1715	1622	1585	1532	1404	1252	1117	1208	1157	1198
1271	1343	1374	1555	1645	1616	1703	1776	1837	1824
2145	2256	2341	2512	2827	2942	2936			
3014	2889	2898	2747	2513	2244	2081	1862	1835	1787
1630	1714	1650	1507	1453	1347	1162	1131	1153	1253
1164	1354	1415	1485	1633	1676	1657	1705	1856	1965
2030	2179	2422	2652	2853	2971	2954			
2943	2945	2851	2831	2650	2285	2170	1990	1850	1764
1740	1672	1601	1584	1435	1331	1264	1167	1223	1238
1147	1353	1394	1500	1573	1734	1675	1720	1775	2020
2159	2212	2310	2618	2823	2963	2950			
2996	3010	2932	2780	2621	2265	2091	1990	1878	1767
1737	1666	1627	1528	1390	1327	1306	1164	1199	1256
1244	1314	1388	1441	1595	1689	1646	1733	1857	1898
2031	2188	2363	2576	2824	3018	2928			
2999	2965	2808	2828	2573	2197	2192	1926	1826	1813
1729	1728	1529	1510	1426	1378	1362	1212	1143	1204
1216	1319	1376	1469	1539	1723	1693	1770	1842	1911
1980	2224	2363	2594	2882	2904	2992			
2986	3010	2861	2760	2570	2329	2094	1970	1840	1702
1736	1669	1575	1488	1400	1398	1305	1233	1178	1186
1275	1286	1354	1471	1508	1592	1711	1804	1886	1947
2029	2224	2317	2639	2860	2931	2990			

2926	2970	2870	2850	2539	2333	2066	1955	1824	1774
1692	1620	1492	1529	1389	1396	1374	1271	1286	1219
1242	1284	1459	1444	1545	1533	1743	1701	1839	1917
1997	2179	2283	2583	2799	3030	3114			
2943	2980	2779	2801	2549	2346	2114	2019	1804	1765
1721	1629	1537	1476	1438	1394	1352	1304	1219	1240
1269	1313	1325	1523	1522	1465	1712	1816	1860	1901
1960	2180	2379	2565	2880	2923	2959			
2854	3014	2890	2735	2520	2197	2068	1872	1894	1781
1668	1682	1508	1475	1450	1335	1373	1253	1280	1280
1245	1299	1304	1468	1484	1572	1668	1735	1788	1867
1903	2092	2347	2667	2905	2985	2958			
2964	2932	3036	2768	2678	2256	2089	1941	1814	1727
1676	1524	1411	1484	1396	1463	1316	1407	1301	1251
1301	1313	1285	1376	1477	1531	1638	1704	1870	1949
2036	2133	2349	2615	2852	2901	3020			
2963	2988	2876	2764	2581	2208	2061	2016	1904	1704
1716	1562	1551	1532	1447	1407	1413	1360	1288	1253
1422	1295	1396	1413	1376	1495	1611	1662	1845	1878
2052	2102	2399	2619	2849	2963	3040			
2977	2962	2824	2700	2587	2230	2105	1960	1897	1705
1687	1589	1487	1436	1416	1446	1388	1370	1444	1390
1332	1310	1283	1357	1398	1523	1641	1738	1807	1982
1936	2217	2404	2598	2859	3056	2999			
2983	2879	2945	2812	2573	2308	2025	2011	1926	1756
1613	1561	1487	1454	1428	1352	1360	1385	1443	1327
1279	1271	1388	1396	1417	1441	1605	1650	1818	1858
2092	2118	2377	2590	2854	2982	3082			
3013	3048	2797	2764	2630	2204	2091	2000	1893	1793
1610	1486	1471	1424	1419	1466	1458	1431	1482	1401
1350	1287	1245	1373	1432	1503	1535	1695	1926	1884
1919	2168	2358	2526	2696	2983	2923			
3079	2989	2788	2785	2608	2197	2053	1972	1882	1764
1696	1553	1479	1485	1442	1458	1427	1406	1419	1464
1440	1312	1358	1333	1404	1523	1612	1672	1746	1926
2019	2181	2291	2545	2819	2928	2989			
2951	2918	2977	2759	2669	2215	2005	1909	1881	1708
1620	1525	1445	1487	1363	1434	1428	1404	1434	1457
1367	1381	1442	1344	1378	1461	1480	1671	1779	1873
2116	2182	2369	2547	2823	2916	3083			
3101	2953	2824	2805	2533	2195	1986	1912	1862	1689
1632	1525	1496	1440	1447	1432	1502	1489	1606	1460
1364	1332	1282	1342	1343	1491	1526	1632	1790	1912
2030	2103	2288	2676	2820	2917	2996			
2994	2914	2807	2733	2572	2366	2041	1930	1890	1632
1626	1525	1473	1480	1395	1453	1425	1485	1485	1445
1456	1344	1372	1343	1393	1406	1509	1597	1713	1901
1994	2155	2397	2654	2785	2923	3018			

2996	2949	2944	2821	2646	2312	2087	1942	1836	1731
1714	1607	1568	1508	1477	1449	1496	1516	1596	1471
1415	1376	1362	1360	1395	1443	1513	1643	1687	1905
1963	2123	2387	2577	2709	2911	3046			
2923	2897	2801	2838	2610	2349	2058	1949	1864	1641
1594	1562	1515	1382	1459	1438	1403	1507	1495	1531
1438	1382	1404	1395	1384	1420	1495	1615	1642	1875
1989	2188	2351	2584	2841	2940	2985			
2940	2980	2967	2691	2548	2327	1995	1910	1776	1748
1613	1510	1491	1463	1401	1449	1391	1469	1585	1544
1468	1381	1379	1384	1293	1330	1455	1565	1683	1820
2027	2236	2323	2539	2785	2967	2885			
3047	2960	2844	2824	2563	2293	2189	1896	1851	1671
1598	1489	1478	1465	1498	1494	1423	1443	1590	1514
1499	1363	1383	1365	1359	1426	1401	1536	1646	1868
1952	2118	2362	2601	2760	3086	2983			
2894	2879	2980	2676	2566	2203	2009	1927	1724	1632
1558	1497	1530	1474	1472	1438	1481	1552	1517	1515
1513	1403	1392	1378	1408	1391	1437	1596	1657	1751
1993	2201	2324	2638	2772	2996	3058			
3007	2908	2904	2803	2521	2125	2041	1908	1696	1653
1552	1525	1501	1472	1453	1472	1525	1480	1539	1506
1451	1384	1422	1390	1359	1431	1506	1602	1698	1800
2028	2145	2397	2585	2808	3026	3043			
2957	3003	2870	2837	2595	2277	2072	1915	1709	1656
1626	1605	1473	1434	1475	1428	1517	1594	1495	1517
1524	1447	1415	1454	1426	1395	1511	1596	1614	1797
1974	2240	2284	2614	2847	3076	2916			
2990	2899	2852	2699	2599	2233	2070	1958	1845	1578
1558	1519	1509	1483	1443	1540	1488	1573	1529	1590
1553	1493	1371	1354	1417	1407	1386	1476	1667	1766
2005	2099	2366	2579	2779	2910	2945			
2980	2974	2896	2788	2598	2383	2114	1891	1711	1696
1601	1570	1498	1544	1488	1491	1543	1502	1518	1553
1518	1523	1389	1415	1406	1364	1393	1618	1575	1761
1955	2207	2310	2550	2817	2866	3040			
2970	2923	2915	2821	2543	2161	2051	1881	1778	1590
1603	1570	1518	1466	1476	1499	1497	1561	1545	1532
1553	1526	1440	1407	1435	1388	1445	1552	1610	1777
1980	2170	2341	2579	2839	2934	3001			
2951	2986	2833	2768	2599	2223	1967	1908	1764	1646
1564	1394	1569	1481	1535	1567	1574	1643	1637	1538
1511	1425	1421	1400	1453	1362	1427	1448	1666	1809
1926	2132	2367	2541	2797	3032	3015			
3056	2863	2898	2696	2643	2248	2071	1861	1744	1649
1624	1539	1494	1463	1495	1514	1487	1504	1584	1493
1561	1572	1437	1416	1367	1419	1473	1543	1502	1776
1856	2087	2343	2566	2859	2918	2944			

2959	2944	2809	2766	2618	2106	2040	1866	1688	1554
1632	1440	1499	1515	1489	1510	1484	1619	1594	1571
1544	1551	1448	1390	1397	1386	1483	1542	1610	1773
1910	2144	2352	2641	2830	2979	3068			
2980	2985	2829	2710	2479	2142	1959	1831	1741	1582
1601	1498	1447	1563	1548	1499	1572	1552	1486	1566
1531	1492	1494	1419	1464	1352	1554	1566	1583	1748
1950	2178	2295	2642	2912	2890	3034			
2986	3012	2918	2854	2615	2187	1993	1898	1743	1660
1501	1440	1529	1564	1443	1584	1525	1576	1538	1576
1550	1491	1457	1431	1400	1322	1494	1586	1586	1732
1957	2176	2379	2549	2819	2961	3039			
3061	2958	2906	2859	2507	2312	1952	1762	1731	1612
1581	1503	1477	1539	1550	1534	1534	1531	1526	1519
1575	1525	1516	1466	1465	1403	1479	1537	1681	1702
1838	2172	2350	2564	2752	2972	2950			
2911	2961	2842	2669	2565	2297	1960	1886	1596	1571
1534	1517	1465	1567	1530	1487	1555	1534	1570	1578
1478	1535	1496	1429	1454	1447	1474	1538	1594	1814
1947	2196	2342	2646	2844	2968	2996			
2965	3009	2830	2680	2456	2097	1982	1737	1607	1548
1550	1553	1542	1507	1497	1564	1585	1621	1479	1533
1515	1561	1493	1359	1406	1405	1465	1550	1585	1777
1880	2221	2320	2646	2891	2964	3028			
2942	2980	2814	2706	2523	2203	2022	1855	1696	1642
1572	1503	1516	1481	1498	1531	1550	1564	1523	1521
1493	1505	1615	1474	1461	1485	1469	1585	1610	1724
1885	2151	2327	2668	2878	2966	2950			
2966	2989	2888	2758	2564	2172	1904	1787	1636	1622
1578	1543	1553	1468	1495	1557	1588	1490	1588	1526
~~1563~~	~~1530~~	~~1515~~	~~1519~~	~~1463~~	~~1380~~	~~1424~~	1524	1547	1730
1936	2138	2331	2631	2863	3017	2940			
2959	3020	2823	2785	2518	2129	1990	1772	1678	1587
1577	1465	1434	1483	1543	1477	1562	1561	1540	1595
1573	1516	1521	1442	1409	1403	1508	1514	1594	1701
1888	2230	2384	2660	2928	2811	2990			
3055	2903	2882	2703	2424	2224	1872	1815	1641	1597
1536	1547	1491	1484	1521	1520	1558	1489	1524	1555
1460	1498	1519	1422	1408	1475	1542	1488	1641	1748
1960	2138	2441	2673	2898	3012	3004			
2982	2943	2913	2633	2424	2141	1922	1808	1672	1570
1554	1466	1600	1437	1537	1550	1550	1482	1506	1568
1548	1506	1499	1461	1423	1382	1479	1586	1651	1799
1886	2184	2285	2596	2891	2974	2957			
2953	2917	2850	2755	2459	2133	1973	1796	1651	1575
1560	1534	1567	1422	1471	1516	1485	1527	1580	1574
1522	1498	1494	1486	1389	1448	1475	1530	1650	1735
1935	2174	2362	2682	2796	2887	2813			

3047	2949	2837	2719	2463	2131	1856	1776	1633	1582
1622	1498	1413	1470	1557	1577	1568	1623	1538	1567
1503	1487	1546	1423	1397	1441	1483	1587	1604	1817
1949	2209	2377	2782	2916	3046	2995			
2921	2931	2788	2635	2408	2099	1914	1728	1596	1552
1503	1600	1470	1567	1511	1537	1603	1462	1528	1424
1472	1466	1491	1448	1448	1442	1556	1538	1583	1771
2070	2228	2397	2710	2835	3047	2864			
2973	2956	2763	2673	2490	2138	1950	1689	1655	1579
1516	1518	1476	1459	1501	1517	1563	1510	1578	1598
1530	1537	1456	1453	1382	1450	1489	1555	1646	1690
1932	2179	2374	2635	2801	2951	3025			
2906	2832	2856	2645	2301	2103	1944	1802	1682	1578
1543	1501	1471	1536	1561	1550	1480	1552	1613	1578
1442	1511	1450	1453	1423	1385	1507	1536	1691	1739
1943	2208	2408	2697	2862	3003	3010			
2962	2874	2756	2689	2317	2101	1922	1828	1685	1531
1568	1538	1506	1491	1568	1581	1526	1508	1558	1489
1499	1511	1448	1470	1427	1459	1506	1499	1630	1883
2062	2311	2542	2788	2916	2936	2975			
2949	2957	2746	2643	2403	2210	2034	1776	1702	1561
1550	1481	1470	1428	1501	1432	1595	1573	1500	1516
1545	1606	1492	1427	1444	1501	1519	1491	1662	1851
2060	2298	2462	2752	2998	2939	2958			
2858	2902	2807	2685	2324	2123	1943	1847	1667	1599
1468	1447	1471	1454	1507	1525	1602	1495	1577	1511
1460	1472	1387	1421	1414	1425	1457	1537	1635	1766
2005	2177	2401	2837	2920	2961	3003			
2901	2881	2741	2576	2355	2107	1882	1753	1616	1572
1542	1503	1481	1521	1485	1483	1512	1541	1603	1513
1415	1516	1510	1430	1453	1507	1485	1560	1721	1867
2007	2246	2476	2739	2959	2988	2888			
2898	2865	2835	2590	2292	2063	1966	1768	1607	1565
1554	1475	1545	1440	1526	1499	1543	1552	1498	1486
1508	1468	1454	1466	1439	1512	1456	1625	1756	1937
2080	2385	2541	2802	2866	2966	3061			
2976	2861	2852	2652	2364	2077	1886	1758	1627	1565
1536	1480	1533	1459	1461	1509	1520	1563	1572	1471
1578	1505	1437	1486	1443	1419	1501	1595	1629	1741
2078	2313	2471	2814	2980	2967	3057			
2921	2903	2810	2561	2335	2157	1922	1725	1601	1632
1598	1434	1507	1413	1585	1559	1528	1542	1576	1553
1463	1438	1434	1395	1416	1454	1518	1603	1714	1805
2136	2279	2506	2791	2951	3044	3024			
3006	2858	2869	2553	2322	2074	1916	1779	1634	1658
1555	1487	1411	1454	1424	1476	1559	1486	1500	1517
1409	1465	1415	1406	1397	1505	1453	1681	1774	1879
2120	2309	2504	2800	2921	2969	3000			

2933	2894	2852	2539	2230	2040	1884	1700	1629	1586
1522	1476	1423	1469	1499	1521	1572	1540	1508	1415
1537	1414	1341	1396	1404	1424	1517	1629	1810	2013
2124	2328	2616	2861	3005	3021	2937			
2889	2890	2890	2576	2317	2098	1888	1739	1728	1560
1536	1501	1449	1493	1475	1419	1571	1492	1490	1529
1464	1451	1428	1400	1461	1425	1507	1625	1711	2008
2117	2363	2580	2844	2970	2983	3028			
2919	2822	2770	2614	2309	2115	1951	1797	1767	1597
1500	1501	1420	1427	1446	1466	1516	1555	1504	1473
1462	1435	1372	1367	1458	1378	1526	1644	1741	2025
2165	2360	2558	2802	2965	3037	3095			
2953	2935	2803	2588	2207	1969	1861	1814	1713	1641
1526	1507	1448	1463	1471	1509	1527	1523	1507	1497
1440	1497	1371	1338	1384	1430	1571	1662	1879	1982
2111	2334	2564	2733	3095	2952	3012			
2940	2880	2684	2523	2206	2013	1867	1759	1687	1559
1479	1403	1449	1467	1414	1456	1539	1438	1434	1469
1448	1399	1460	1425	1404	1505	1527	1672	1805	2045
2256	2315	2573	2839	2895	2917	2948			
2917	2892	2784	2571	2199	2030	1916	1817	1639	1593
1520	1529	1499	1424	1447	1428	1455	1576	1498	1480
1425	1481	1367	1338	1391	1522	1560	1670	1838	2016
2184	2392	2688	3036	2967	2997	3009			
2947	2804	2821	2554	2217	2101	1929	1801	1683	1618
1604	1568	1409	1452	1435	1458	1495	1516	1546	1444
1440	1431	1428	1354	1406	1437	1597	1791	1863	2060
2129	2369	2662	2837	3069	2900	2975			
2918	2895	2779	2445	2258	2084	1950	1809	1608	1581
1520	1482	1499	1481	1438	1438	1429	1500	1483	1386
1426	1463	1388	1416	1427	1562	1597	1781	1883	2137
2141	2468	2660	2936	2887	3138	2956			
2977	2913	2761	2412	2142	1977	1876	1778	1664	1627
1479	1470	1526	1410	1439	1419	1437	1492	1481	1430
1402	1324	1330	1350	1566	1571	1656	1758	1964	2089
2273	2507	2580	2915	2982	3025	2888			
2817	2858	2757	2454	2267	2006	1891	1816	1773	1674
1543	1469	1464	1463	1433	1491	1417	1462	1505	1414
1407	1424	1367	1375	1429	1484	1673	1779	1959	2134
2165	2426	2653	2880	2899	2939	3086			
2872	2859	2757	2538	2233	1948	1937	1885	1703	1655
1567	1553	1521	1384	1391	1391	1473	1481	1464	1448
1401	1307	1448	1436	1482	1616	1747	1883	1900	2018
2280	2424	2600	2900	2956	2932	2924			
2953	2885	2679	2388	2197	2016	1913	1817	1766	1537
1619	1550	1486	1435	1417	1385	1473	1391	1355	1379
1340	1348	1421	1416	1470	1522	1721	1823	2044	2101
2275	2490	2722	2928	3014	2974	3040			

A.II.2 - MATRIZ DE DATOS TOMO-PZ

14945	14554	14223	13255	11686	10667	9899	9386	8988	8391
7898	7230	6834	6591	6726	6793	6745	6892	6953	7061
7118	6989	7112	7423	7674	7844	8261	9071	9417	9922
10675	11294	12586	13743	14718	14848	15197			
14961	14752	14214	13375	12052	10812	9922	9346	8994	8603
8030	7318	6900	6640	6536	6492	6574	6635	6757	6921
7119	7157	7276	7492	7739	8078	8459	8919	9325	9864
10606	11366	12321	14021	14820	15041	14875			
14835	14555	13967	13421	11786	10535	10042	9531	9151	8544
8202	7525	6837	6773	6542	6605	6462	6698	6744	6773
7140	7119	7270	7434	7709	7887	8707	8878	9537	10041
10503	11460	12327	14083	14734	15025	14889			
14814	14480	14138	13385	12088	10725	9944	9587	9183	8608
8457	7487	6962	6694	6702	6618	6553	6475	6470	6798
6947	6961	7238	7349	7809	8087	8495	9013	9380	9979
10557	11480	12400	13782	14932	14946	15109			
14719	14584	14142	13457	11973	10848	10033	9587	9124	8378
8406	7724	7337	6757	6719	6420	6406	6339	6380	6643
6812	7163	7237	7519	7761	8097	8635	8955	9375	9763
10474	11218	12131	13492	14527	15171	15072			
14934	14716	14222	13638	12175	10852	10184	9455	9146	8693
8553	7901	7466	6970	6506	6505	6178	6223	6242	6528
6794	7074	7057	7367	7731	8189	8504	9119	9362	9691
10519	11382	12084	13603	14516	15013	14727			
14996	14686	14317	13569	12056	10783	10062	9488	9007	8665
8509	8005	7590	7105	6491	6292	6232	6015	6196	6407
6652	6997	7466	7707	7803	8266	8476	9013	9299	9991
10335	11326	12112	13649	14609	14963	14954			
14752	14582	14218	13686	12284	10870	10020	9525	9234	8798
8506	8007	7674	6935	6789	6376	6192	6051	6146	6239
6633	7193	7373	7531	7842	8346	8579	8765	9417	9816
10462	11318	12255	13793	14587	14792	14886			
14828	14672	14447	13587	12406	11038	10126	9723	9135	8717
9195	8094	7889	7187	6597	6412	6041	6020	6075	6222
6503	7006	7231	7763	7928	8419	8584	8989	9288	9678
10386	10894	11824	13416	14556	14698	15126			
14855	14617	14356	13615	12600	10945	10241	9691	9241	8787
8539	8271	7795	7348	6803	6497	5916	5914	5992	6417
6339	6898	7317	7569	7895	8468	8612	8857	9233	9845
10409	11150	12031	13346	14330	15054	14872			
14895	14637	14489	13496	12359	11004	10194	9748	9188	8847
8581	8241	7841	7549	6821	6513	6081	6038	6042	6354
6393	6788	7168	7697	8054	8333	8562	9014	9076	9793
10191	11112	12100	13546	14440	14859	15008			

14856	14710	14282	14002	12334	11197	10083	9759	9249	8936
8628	8219	7969	7510	6885	6314	6041	5899	6070	6244
6430	6613	7231	7864	8102	8297	8725	8755	9257	9872
10423	11212	11925	13366	14534	14918	14988			
14859	14953	14461	13831	12567	11219	10268	9661	9314	8932
8592	8139	8073	7841	7197	6485	5985	5764	5774	5925
6312	6614	7057	7906	8152	8406	8566	8933	9195	9493
10235	11046	11815	13268	14140	14968	14728			
14969	14635	14263	14063	12577	11174	10183	9631	9424	8980
8588	8352	8022	7639	7360	6451	6127	5939	5833	6089
6298	6740	6919	7813	8140	8304	8469	8714	9081	9531
10156	11028	11946	13249	14364	14892	14858			
15004	14625	14388	13719	12507	11192	10218	9666	9325	8864
8706	8252	7978	7677	7167	6475	6026	6031	6028	5948
6230	6765	7246	7729	8140	8448	8497	8857	9258	9643
10267	10998	12084	13375	14307	14906	14896			
14890	14763	14461	13681	12976	11283	10389	9703	9383	8947
8810	8364	7900	7670	7154	6686	6189	6040	5792	6109
6189	6634	6961	7833	8145	8294	8621	8682	9119	9794
10175	11048	11905	13226	14340	14856	14889			
15050	14756	14357	13990	12635	11214	10347	9899	9341	8804
8642	8387	8088	7604	7198	6764	6313	6016	5936	5961
6239	6543	7001	7516	7884	8351	8497	8799	9159	9545
10230	10918	11857	13167	14130	14833	14929			
14850	14695	14313	13799	12698	11138	10504	9762	9364	8839
8582	8307	8160	7575	7347	6785	6407	6125	5983	5930
6225	6550	7084	7447	7935	8390	8596	8673	9083	9619
10284	10962	11708	13064	14321	14729	15003			
15018	14753	14420	13961	12744	10964	10468	9681	9444	9091
8664	8282	8016	7696	7087	6773	6513	6155	5894	5967
6293	6663	6865	7336	7776	8333	8476	8825	9325	9660
10038	11080	11929	13150	14369	14804	14990			
15011	14770	14336	13829	12793	11366	10476	9678	9363	8855
8602	8234	8017	7424	7206	6959	6679	6037	6057	6145
6369	6536	6912	7331	7524	8159	8742	8746	9018	9485
10119	10857	11782	13010	14348	14854	14796			
14901	14655	14351	14174	12920	11508	10451	9795	9384	8937
8705	7998	7809	7598	7219	7079	6941	6460	6253	6257
6157	6505	6815	7205	7633	7961	8458	8768	8971	9582
10117	11010	11753	12816	13990	14910	15017			
14778	14742	14544	14055	12760	11216	10456	9850	9357	8956
8484	8281	7784	7407	7061	6890	6742	6612	6147	6271
6202	6595	6837	7168	7712	7903	8438	8812	9066	9484
10095	11083	11702	13184	14289	14838	15046			
14858	14639	14610	13865	13066	11314	10398	9867	9400	8894
8629	8198	7505	7349	7121	6955	6982	6663	6419	6284
6519	6593	6659	7094	7394	7966	8331	8930	9213	9742
10043	11031	11881	13327	14229	14777	14885			

14847	14591	14519	13996	12946	11474	10517	9916	9381	8882
8420	7958	7784	7276	7115	7027	6774	6879	6564	6291
6437	6726	6773	6961	7261	7729	8194	8782	9042	9554
10060	10728	11415	12979	13953	14710	14903			
14850	14717	14418	13969	13005	11632	10471	9926	9363	8791
8511	8059	7646	7389	7130	7027	7079	6709	6739	6494
6478	6451	6674	6935	7243	7776	8069	8727	9064	9515
10138	10840	11656	12942	13995	14741	14996			
14795	14876	14204	14179	13023	11351	10466	9724	9187	8783
8385	7988	7558	7306	7076	7078	6992	6988	6825	6628
6684	6619	6605	6837	7118	7547	8007	8788	9248	9546
10264	10966	11694	12910	14226	14927	14882			
14977	14827	14550	14038	12946	11170	10544	9751	9315	8885
8657	7863	7679	7244	7357	7025	7092	6957	7008	6767
6734	6537	6515	6851	7130	7471	8065	8561	9237	9398
10160	10972	11717	12909	13997	14803	14965			
14664	14854	14502	14177	12922	11462	10477	9802	9214	8828
8374	7859	7372	7106	7121	7180	7166	7215	7034	6868
6856	6716	6687	6902	6954	7323	7799	8328	8902	9646
10111	10813	11394	12946	13971	14666	15000			
15093	14702	14612	14050	13318	11487	10483	9933	9176	8909
8352	7803	7606	7433	7400	7123	7195	7387	7128	7134
6742	6786	6791	6715	7017	7233	7907	8379	8985	9458
10069	10719	11628	12819	13971	14933	14916			
14732	14718	14644	14105	12776	11268	10469	9891	9229	8657
8206	7712	7443	7305	7217	7307	7168	7215	7229	7175
6942	6774	6604	6668	6993	7197	7750	8277	8981	9360
10273	10917	11601	13092	14292	14961	14920			
14957	14500	14426	13936	12899	11489	10325	9728	9233	8662
8233	7765	7455	7366	7179	7256	7277	7438	7380	7176
7041	6866	6771	6819	6975	7256	7777	8182	8786	9673
10023	10852	11571	12723	14114	14870	14819			
15011	14759	14621	14077	13197	11417	10428	9601	9190	8645
8160	7783	7500	7172	7303	7280	7280	7360	7491	7472
7097	6971	6870	6784	6810	7117	7539	8045	8672	9352
10029	10735	11605	12797	14085	15167	14968			
14909	14531	14625	13953	13379	11510	10414	9743	9124	8575
8133	7737	7476	7288	7234	7314	7493	7434	7452	7532
7343	7034	7046	6850	7053	7225	7368	7950	8592	9461
9920	10827	11710	12933	13987	14824	15053			
14975	14710	14404	14082	13194	11469	10503	9587	9086	8466
8085	7505	7484	7326	7297	7265	7279	7389	7602	7427
7319	7003	6965	6887	6965	7262	7446	7913	8635	9315
10072	10957	11812	13037	14024	15036	14969			
14950	14706	14402	13909	12953	11544	10278	9617	9001	8525
8028	7699	7589	7267	7259	7243	7396	7541	7559	7591
7385	6991	6831	6950	6879	7111	7452	7913	8472	9266
10079	10917	11606	12776	13924	14819	15156			

14912	14668	14530	14155	13062	11338	10468	9635	9083	8507
8250	7607	7481	7292	7410	7301	7463	7585	7779	7477
7491	7273	7123	6758	6926	7223	7270	7759	8311	9390
9805	10694	11655	12903	14017	14820	15208			
14919	14472	14865	14176	13081	11469	10284	9820	9076	8522
7997	7435	7481	7537	7504	7457	7537	7761	7760	7785
7585	7406	6896	6991	6924	7045	7292	7934	8160	8916
10029	10734	11751	13064	13710	14986	14973			
15065	14829	14513	13950	12922	11346	10323	9663	8900	8199
7881	7451	7514	7187	7292	7382	7555	7748	7677	7622
7486	7368	7063	6897	7007	6992	7244	7770	8240	9110
9912	10849	11539	12819	14147	15045	14862			
14891	14775	14475	14018	12862	11190	10221	9680	8835	8207
7730	7705	7382	7312	7429	7344	7546	7519	7677	7715
7571	7266	7142	6883	7150	6927	7208	7731	8263	9091
9981	10948	11739	13156	14164	14896	14965			
14838	15003	14535	13905	13190	11256	10413	9551	8881	8112
7861	7537	7589	7341	7567	7664	7709	7664	7705	7737
7503	7353	7195	6981	6932	6931	7300	7596	8104	8756
9894	10818	11565	12737	14154	14906	15075			
14709	14855	14633	13832	12903	11234	10300	9470	8769	8145
7728	7728	7486	7442	7351	7595	7601	7844	7649	7678
7629	7563	7271	6915	7114	7208	7305	7629	8017	8863
9737	10832	11864	13018	13958	14789	14959			
14923	14688	14459	13956	12735	11332	10355	9378	8722	8227
7934	7483	7588	7412	7514	7607	7622	7656	7675	7794
7760	7455	7153	6956	7051	6951	7377	7607	8130	8915
9662	10885	11677	13148	14080	14862	15171			
14989	14671	14553	13888	12907	11138	10027	9428	8685	8137
7708	7604	7507	7488	7422	7520	7652	7632	7759	7607
7614	7505	7184	7083	6986	7148	7339	7716	8236	8933
9748	10818	11562	12862	13962	14947	14893			
15166	14969	14389	13683	13047	11291	9997	9340	8700	8110
7716	7730	7545	7517	7427	7692	7649	7771	7732	7603
7704	7584	7363	7037	7037	7186	7381	7599	8063	8729
9714	10599	11531	12943	14043	14916	14986			
15104	14679	14310	13786	12739	11072	10077	9152	8497	8214
7916	7703	7505	7453	7604	7606	7695	7945	7777	7794
7638	7560	7496	7199	7136	7156	7164	7626	8103	8762
9628	10865	11566	13070	14187	14940	14866			
14978	14949	14421	13706	12602	11170	10018	9086	8468	8068
7802	7703	7670	7522	7435	7621	7828	7819	7765	7790
7669	7555	7321	7211	7048	7295	7277	7553	8083	8797
9656	10785	11831	13223	14202	14949	15247			
14841	14929	14302	13983	12670	11365	10175	9282	8447	8182
7812	7660	7427	7624	7811	7563	7834	7711	7640	7811
7685	7561	7391	7026	7037	7209	7352	7759	7990	8774
9531	10761	11666	13069	14254	14924	14798			

14981	14725	14415	13939	12630	11046	10092	9121	8567	8030
7793	7572	7684	7545	7714	7618	7733	7739	7774	7746
7916	7637	7443	7238	7149	7271	7301	7734	8076	8672
9614	10637	11674	12950	14176	14939	15058			
14929	15067	14559	13982	12669	11265	9929	9142	8525	7901
7821	7531	7473	7634	7412	7487	7816	7675	7787	7771
7700	7573	7611	7213	6930	7099	7423	7521	8185	8783
9585	10798	11712	13279	14268	14944	15083			
14948	14579	14411	13681	12552	10830	9691	8877	8517	7897
7925	7499	7575	7612	7664	7737	7734	7718	7756	7767
7485	7715	7488	7302	7168	7181	7342	7851	7976	8764
9473	10781	11991	13242	14581	15017	15003			
14802	14804	14530	13747	12664	11137	9797	9171	8730	8037
7805	7525	7412	7521	7547	7448	7790	7807	7900	7676
7793	7565	7641	7280	7180	7102	7337	7712	8008	8742
9457	10614	11907	12952	14357	14745	15103			
15021	14612	14388	13832	12543	11112	9993	8985	8465	8018
~~7811~~	~~7551~~	~~7559~~	~~7616~~	~~7567~~	~~7773~~	~~7721~~	~~7636~~	~~7868~~	~~7738~~
7735	7684	7597	7150	7216	7191	7391	7627	8111	8603
9390	10721	11865	13206	14449	14693	14974			
14680	14789	14144	13794	12258	10931	9668	8977	8227	7935
7638	7594	7449	7464	7596	7652	7699	7618	7813	7814
7693	7522	7526	7233	7149	7170	7291	7694	8054	8727
9554	10914	11996	13375	14390	14950	14900			
14832	14941	14348	13445	12446	10754	9673	8994	8347	7885
7684	7517	7620	7574	7657	7684	7618	7865	7662	7746
7592	7814	7518	7122	7133	7232	7392	7441	8130	8688
9647	11052	12060	13391	14628	14949	14957			
15113	14740	14260	13916	12517	10797	9922	8936	8415	8117
7644	7609	7460	7376	7636	7817	7896	7810	7777	7571
7645	7759	7498	7250	7168	7218	7408	7693	8075	8591
9692	11065	12030	13215	14495	14942	15130			
14545	14661	14157	13612	12164	10863	9616	8803	8261	7937
7746	7689	7448	7560	7487	7637	7626	7806	7796	7724
7641	7689	7478	7238	7197	7185	7331	7683	7997	8837
9697	10763	11820	13489	14407	15034	14840			
14704	14665	14205	13483	12099	10571	9542	8744	8395	7892
7705	7643	7452	7588	7684	7695	7681	7809	7778	7669
7686	7597	7567	7371	7121	7219	7374	7698	8016	8988
9787	11223	12031	13635	14692	15017	14833			
14989	14528	14042	13467	12172	10891	9399	8934	8282	7951
7612	7470	7514	7625	7620	7635	7817	7793	7575	7702
7808	7619	7517	7257	7248	7113	7490	7832	8213	8968
9586	11059	12245	13658	14607	15066	15069			

14687	14847	14346	13370	12012	10635	9469	9044	8362	7860
7675	7687	7550	7570	7487	7896	7730	7701	7884	7823
7610	7661	7481	7383	7079	7207	7375	7766	8203	8940
9660	10744	11923	13609	14340	14905	15128			
14878	14679	14622	13803	12017	10690	9572	8820	8289	7985
7655	7531	7380	7473	7461	7445	7815	7782	7768	7973
7666	7602	7319	7141	7247	7176	7479	7864	8304	8948
10026	10927	12223	13499	14840	14914	15061			
14762	14430	14049	13286	11881	10312	9521	8749	8243	8156
7785	7389	7409	7238	7556	7691	7737	7868	7681	7623
7714	7619	7389	7088	7126	7251	7458	7570	8237	9013
10031	11269	12111	13807	14876	14843	15017			
14812	14412	14022	13075	11779	10425	9667	8742	8354	7885
7753	7571	7420	7514	7513	7603	7794	7869	7705	7591
7621	7533	7403	7181	7161	7293	7530	7701	8320	9078
10158	11125	12269	13695	14718	14810	14862			
14782	14226	14238	13271	11957	10472	9781	8771	8372	7938
7737	7548	7609	7406	7446	7512	7680	7792	7680	7581
7557	7534	7397	7216	7152	7262	7458	7773	8016	9187
10061	11264	12286	13743	14901	14835	15067			
14737	14461	14038	13307	11909	10595	9455	8855	8241	7809
7653	7384	7440	7421	7393	7625	7734	7815	7596	7842
7602	7531	7305	7209	7150	7292	7564	7795	8475	9445
10259	11532	12415	13980	14797	14834	14893			
14727	14325	13855	12983	11632	10536	9350	8774	8350	8007
7834	7322	7358	7411	7297	7603	7645	7707	7619	7603
7607	7406	7197	7214	7170	7454	7597	7810	8481	9532
10284	11542	12345	14006	14737	14951	14652			
14643	14419	14074	13161	11440	10439	9507	8774	8306	7862
7742	7410	7251	7200	7377	7564	7750	7701	7830	7702
7532	7516	7172	7104	7303	7320	7377	7943	8452	9313
10460	11576	12476	13832	14592	15111	14921			
14569	14334	14161	13129	11671	10514	9657	8702	8287	7995
7704	7670	7383	7250	7435	7554	7558	7809	7576	7692
7440	7581	7225	7087	7039	7223	7469	8005	8729	9234
10395	11536	12374	14026	15007	14723	15089			
14587	14423	14010	12853	11602	10401	9458	8972	8280	7826
7872	7382	7318	7537	7295	7512	7602	7785	7614	7740
7506	7279	7179	7031	7223	7243	7523	8039	8612	9761
10522	11547	12551	13959	14762	15135	14882			
14495	14403	13791	12807	11353	10113	9284	8792	8176	7953
7681	7519	7449	7254	7417	7604	7695	7832	7561	7629
7435	7364	7149	7103	7141	7201	7700	8130	8887	9751
11061	11862	12841	14132	14889	14950	14770			

14654	14434	14112	12741	11216	10193	9438	8712	8202	7838
7625	7414	7250	7406	7252	7391	7662	7638	7749	7631
7372	7077	7156	7149	7124	7391	7678	8183	8750	9807
10786	11783	12850	14155	14692	15016	15007			
14763	14377	13914	12631	11352	10306	9448	8848	8468	8140
7637	7376	7455	7357	7240	7194	7624	7535	7575	7558
7379	7223	7133	7082	7129	7341	7865	8206	8888	9993
10566	11836	12877	14130	14692	15070	14950			
14796	14297	13973	12670	11335	10282	9461	8977	8231	7813
7599	7386	7344	7091	7173	7430	7611	7669	7546	7527
7377	7077	6852	6999	7115	7483	7808	8301	8862	10111
11018	11770	12968	14359	14783	15066	15006			
14599	14185	13826	12429	11163	10276	9358	8844	8201	7871
7611	7315	7247	7326	7169	7322	7411	7561	7520	7448
7220	6869	7007	6906	7265	7591	7729	8502	9351	10091
11132	11925	12882	14370	14851	14924	14841			
14556	14394	14073	12696	11207	9945	9386	8955	8219	7964
7652	7470	7559	7213	7188	7343	7287	7582	7518	7297
7019	7041	6990	6897	7144	7460	7834	8597	9258	10233
11087	11921	12938	14439	14763	14752	14975			
14438	14313	13599	12624	11149	10252	9526	9017	8449	7936
7634	7259	7247	6997	7112	7241	7159	7525	7335	7180
7035	6789	6787	7049	7128	7628	8005	8518	9215	10334
10898	11926	13029	14282	14983	14912	15102			
14636	14247	13817	12407	11085	10048	9390	9022	8564	7870
7563	7416	7322	7165	7269	7145	7122	7340	7409	7206
7178	6904	6891	7060	7097	7794	8083	8716	9589	10332
11022	12083	13001	14416	14965	15046	14936			
14558	14126	13726	12101	10848	10229	9407	8898	8418	8151
7646	7466	7226	7105	7137	7242	7191	7420	7388	7290
7003	7006	6896	7041	7318	7691	8337	8858	9796	10584
11245	12183	13279	14591	14942	14968	15005			
14416	14355	13780	12364	10855	10174	9559	9145	8699	8077
7821	7458	7292	7193	7066	7124	7150	7399	7324	6863
6894	6750	6812	7064	7425	7501	8283	8908	9613	10390
11082	12305	13296	14924	14927	14734	14975			
14573	14412	13626	12344	10938	9914	9289	9002	8624	7963
7551	7394	7343	7165	6837	7010	7056	7223	7218	7163
6958	6885	6789	7081	7404	7836	8338	9011	9836	10589
11104	12208	13333	14578	14779	14996	14950			
14383	14253	13558	11989	10805	9943	9448	9251	8619	8022
7688	7450	7238	7285	6949	6993	6907	7140	7069	6982
6857	6681	7097	7183	7581	7989	8394	9420	9729	10462
11355	12344	13568	14698	15014	14831	14927			

A.II.3 - MATRIZ DE DADOS TOMO-FØ

3056	3009	2895	2722	2475	2326	2138	2204	2309	2418
2356	2327	2071	1990	1768	1572	1607	1677	1705	1780
1707	1615	1674	1602	1603	1616	1746	1961	1938	1995
2019	2216	2459	2623	2901	3058	2986			
3094	2945	2918	2776	2377	2289	2186	2243	2251	2319
2355	2223	2105	1921	1816	1638	1589	1642	1636	1774
1762	1790	1689	1646	1655	1699	1752	1899	1948	1992
2078	2268	2437	2806	2984	3025	3139			
3010	3016	2943	2887	2549	2324	2187	2211	2145	2256
2256	2232	2065	1997	1860	1638	1688	1575	1668	1668
1683	1665	1662	1759	1647	1683	1748	1778	1955	1854
2065	2130	2398	2669	2958	2950	2909			
2979	2979	2985	2873	2517	2235	2337	2227	2218	2217
2225	2087	2100	1980	1891	1773	1850	1693	1608	1609
1617	1649	1639	1690	1665	1599	1759	1787	1868	1992
2109	2207	2378	2654	2968	2883	2968			
3007	3068	2932	2920	2596	2461	2293	2306	2176	2121
2062	2089	2004	1987	1758	1891	1820	1789	1662	1617
1590	1632	1685	1714	1703	1724	1712	1725	1766	1949
2045	2143	2357	2645	2838	2981	2932			
3034	2885	2994	2982	2841	2508	2358	2206	2148	2071
2013	1933	1925	1890	1904	1751	1812	1785	1763	1645
1633	1603	1669	1817	1858	1791	1730	1761	1834	1960
2031	2154	2302	2628	2905	2910	2964			
2993	2894	3013	2843	2674	2424	2363	2208	2220	2079
1993	1846	1855	1921	1899	1846	1951	1874	1816	1676
1556	1628	1763	1829	1701	1671	1736	1736	1745	2005
2062	2133	2442	2616	2908	2999	2964			
3080	2962	2937	2876	2694	2480	2354	2292	2198	2100
1936	1950	1765	1732	1798	1900	1922	1876	1739	1709
1703	1640	1694	1666	1742	1663	1740	1836	1757	1939
2033	2245	2270	2501	2798	3049	3027			
2964	3015	2952	2829	2653	2410	2333	2195	2228	2092
1950	1869	1793	1708	1819	1892	1882	1868	1829	1777
1760	1703	1626	1778	1749	1793	1756	1738	1876	1949
2033	2197	2392	2545	2788	2907	2875			
3056	3074	2900	2884	2778	2457	2291	2227	2112	2149
1978	1948	1878	1747	1700	1730	1872	1870	1864	1733
1783	1788	1748	1633	1631	1779	1755	1828	1804	1892
1994	2231	2267	2642	2825	3041	3089			
3002	3089	3009	2842	2708	2525	2250	2339	2225	2133
2048	1855	1803	1779	1748	1758	1769	1858	1825	1853
1787	1841	1790	1667	1745	1827	1816	1719	1787	1991
2043	2228	2205	2484	2769	2976	2996			

2923	2995	3044	2835	2732	2424	2274	2322	2185	2072
2049	1920	1847	1807	1752	1674	1690	1672	1824	1830
1808	1805	1820	1758	1785	1802	1819	1863	1929	1971
2032	2119	2280	2561	2808	2947	2943			
3062	3029	3007	2835	2802	2502	2274	2198	2206	2119
2107	2037	1899	1825	1767	1669	1618	1642	1791	1748
1805	1839	1837	1940	1793	1875	1838	1894	1789	1957
2037	2095	2347	2513	2734	2996	3074			
3069	2995	3076	2837	2748	2430	2212	2226	2177	2000
1971	2014	2003	1851	1742	1646	1724	1626	1620	1644
1733	1871	1784	1918	1947	1886	1841	1798	1843	1953
2055	2095	2351	2600	2761	2899	3079			
3111	3005	3061	2859	2741	2409	2253	2119	2109	2109
2139	2051	2069	1897	1845	1761	1717	1591	1590	1558
1685	1811	1841	1898	1970	1961	1914	1909	1866	1953
2053	2007	2206	2537	2770	3070	2996			
3010	3031	2905	2836	2636	2281	2145	2129	1990	2140
2094	2065	2007	2019	1915	1731	1642	1494	1509	1559
1603	1750	1828	1965	1923	1996	2094	2031	1855	1968
1965	2183	2290	2520	2662	2994	3102			
2929	2849	2887	2835	2734	2417	2224	2052	1992	2033
1986	2076	2086	2142	1955	1777	1606	1508	1488	1537
1628	1652	1781	1839	2041	2071	2030	2074	1946	1875
1896	2139	2246	2549	2794	3009	2976			
3031	2861	2942	2787	2677	2406	2149	1969	2002	1993
2079	2163	2128	2204	1994	1752	1649	1526	1446	1475
1582	1537	1731	1900	2066	2050	2077	2096	1976	1951
2038	2117	2277	2582	2729	2999	2881			
3004	2951	2974	2807	2659	2404	2050	2040	1936	1931
2032	2083	2097	2148	1957	1782	1668	1529	1523	1511
1559	1599	1693	1839	1981	2129	2158	2087	2008	2044
2037	2182	2383	2569	2823	2958	3059			
3020	2947	2924	2820	2619	2294	2160	2015	1853	1871
1961	2167	2052	2038	1893	1826	1709	1572	1547	1541
1551	1537	1668	1762	1986	2174	2120	2143	2039	2125
2077	2138	2314	2555	2773	2922	3025			
3067	2932	2883	2789	2530	2289	2057	1994	1895	1876
1883	2042	2121	2090	1979	1730	1780	1721	1559	1433
1513	1622	1672	1765	2014	2140	2135	2069	2139	2127
2090	2222	2375	2595	2744	3025	3009			
2955	3044	2956	2848	2625	2311	2066	2017	1873	1932
1884	1909	1990	1885	1952	1909	1708	1738	1621	1518
1500	1645	1606	1748	1918	2010	2098	2065	2073	2107
2148	2319	2332	2669	2862	3047	2956			
3062	2967	2911	2744	2561	2299	2171	1949	1949	1805
1858	1883	1866	1877	1856	1754	1812	1690	1643	1645
1619	1651	1723	1735	1868	1990	2073	2139	2109	2142
2294	2340	2383	2575	2863	2932	2967			

2994	2892	2812	2742	2456	2308	2110	1929	1862	1822
1769	1832	1854	1790	1946	1900	1862	1787	1785	1678
1705	1590	1648	1768	1863	1973	2013	2034	2059	2182
2241	2401	2359	2658	2939	2967	2997			
3008	2989	2911	2722	2641	2241	2039	2084	1859	1853
1741	1728	1757	1753	1743	1845	1789	1805	1821	1742
1773	1693	1700	1716	1804	1945	1974	2076	2106	2128
2381	2420	2347	2667	2927	3036	3046			
~~2960~~	~~2891~~	~~2838~~	~~2739~~	~~2442~~	~~2210~~	~~2057~~	~~1991~~	~~1865~~	~~1788~~
1695	1740	1707	1773	1708	1716	1749	1763	1845	1860
1789	1803	1659	1839	1848	1819	2001	2086	2113	2266
2399	2452	2549	2742	2934	2968	3006			
2959	2937	2849	2802	2460	2248	1944	1972	1871	1800
1713	1702	1751	1711	1669	1708	1603	1773	1847	1881
1793	1797	1805	1722	1774	1919	1972	2041	2124	2348
2351	2484	2511	2755	3027	2947	2980			
2993	2841	2903	2586	2460	2182	1989	1947	1856	1801
1752	1679	1736	1698	1646	1663	1762	1690	1904	1810
1832	1872	1977	1894	1659	1878	1954	2050	2099	2300
2497	2488	2576	2855	2982	3009	3022			
3082	2884	2910	2661	2362	2178	1980	1960	1912	1761
1710	1676	1670	1668	1634	1680	1732	1783	1834	1873
1951	1990	1875	1861	1811	1820	1911	2025	2202	2304
2441	2557	2568	2763	2998	3047	3028			
2853	2940	2809	2662	2332	2060	2123	1964	1831	1728
1687	1762	1714	1684	1754	1720	1658	1615	1791	1806
1856	1954	1960	1849	1852	1866	1874	2095	2277	2226
2407	2518	2679	2872	2971	2973	2949			
2932	2893	2929	2570	2339	2152	2037	1957	1889	1761
1729	1713	1672	1717	1724	1649	1650	1669	1728	1807
1985	1879	1917	1856	1937	1963	2077	2105	2112	2273
2380	2611	2653	2884	2976	3123	2993			
2915	2916	2782	2659	2288	2094	2024	1896	1823	1743
1760	1623	1702	1799	1650	1725	1607	1612	1699	1818
1847	1940	1928	1954	2061	2120	2162	2131	2249	2274
2402	2547	2597	2987	3034	3007	3023			
2915	2880	2809	2429	2286	2082	1895	1937	1828	1736
1571	1656	1757	1659	1704	1680	1655	1670	1793	1785
1893	1818	2025	1979	2158	2221	2220	2227	2222	2316
2448	2449	2671	2988	3015	3073	3006			
2901	2888	2758	2501	2228	2072	1911	1939	1803	1709
1693	1651	1654	1673	1635	1703	1681	1685	1624	1678
1744	1735	1914	2079	2172	2262	2291	2339	2191	2289
2402	2395	2714	2970	3023	2965	2985			
2921	2786	2719	2419	2162	1997	1883	1835	1874	1804
1616	1677	1575	1607	1657	1665	1764	1680	1641	1645
1660	1764	1921	2059	2184	2399	2384	2324	2342	2210
2414	2477	2765	2980	3046	3081	3052			

2881	2936	2761	2394	2123	2002	1955	1859	1813	1779
1658	1646	1614	1618	1712	1694	1782	1774	1644	1599
1602	1749	1966	2104	2278	2353	2351	2360	2351	2343
2327	2470	2676	3104	2943	2960	2980			
2839	2808	2682	2316	2082	1993	1867	1849	1876	1811
1700	1627	1526	1668	1706	1728	1831	1695	1585	1624
1657	1839	1989	2203	2319	2333	2331	2267	2325	2281
2366	2569	2727	2942	3032	3002	3009			

A.II.4 - MATRIZ DE DADOS TOMO-F1

5010	4940	4971	4526	4384	4034	3960	3700	3922	3933
3846	3792	3551	3278	3164	2868	2683	2669	2830	3023
3052	2872	2894	2919	2832	2861	3043	3187	3334	3392
3613	3944	4213	4695	4965	5095	5189			
5067	5038	4977	4744	4511	3994	3764	3792	3889	3866
3885	3782	3502	3316	3061	2891	2781	2769	2832	2813
2908	2873	2832	2849	2874	2957	3034	3183	3314	3499
3627	3898	4142	4554	4955	5037	5090			
5053	5009	4925	4735	4506	4046	3901	3737	3776	3862
3799	3761	3665	3442	3183	3013	2773	2798	2729	2947
2864	2806	2888	2787	2773	2893	2955	3157	3164	3404
3617	3716	4029	4584	4794	5097	5141			
5112	4962	4888	4691	4409	4134	3871	3817	3666	3585
3689	3721	3530	3511	3121	3034	2869	2932	2713	2818
2750	2829	2902	2909	2906	2981	2948	3068	3220	3426
3534	3883	4054	4536	4869	5036	5169			
5091	5015	4871	4772	4562	4174	3951	3821	3772	3666
3582	3541	3551	3354	3242	3149	3074	2934	2954	2855
2749	2674	2918	3065	2943	2973	3043	2959	3177	3521
3590	3810	4044	4449	4872	5100	5113			
5100	4957	4977	4726	4568	4289	3799	3766	3821	3633
3549	3443	3309	3271	3121	3256	3185	3114	3067	2866
2644	2725	2941	2918	2945	2995	2994	2990	3200	3454
3585	3895	4009	4259	4729	5091	5047			
5146	4911	4964	4947	4557	4201	3997	3927	3709	3615
3397	3351	3142	3256	3231	3232	3241	3161	3035	2931
2822	2742	2827	2931	2990	2982	3055	3053	3217	3375
3672	3867	4004	4470	4637	4977	5089			
4998	5087	4948	4804	4680	4237	4094	4031	3754	3637
3429	3207	3112	3114	3127	3264	3302	3212	3014	2962
2878	2842	2898	2916	2964	3005	2991	3022	3092	3360
3558	3780	3962	4183	4649	5083	5087			
5031	5126	4974	4882	4600	4254	4044	3878	3714	3581
3343	3279	3133	3022	2952	3191	3293	3212	3136	3045
3020	3055	2890	2886	2894	3029	2973	3032	3208	3386
3618	3822	3867	4471	4641	4852	5038			
5014	5115	4976	4920	4563	4400	4006	3804	3836	3542
3347	3442	3131	2941	3061	3028	3193	3198	3143	3037
3035	3034	2859	2866	2929	2970	3016	3147	3131	3355
3500	3751	3975	4201	4694	5057	5118			
5116	5019	5068	4975	4573	4264	4051	3814	3801	3674
3493	3252	3139	3004	2868	2944	2998	3068	3077	3129
3043	3026	3043	2980	2962	3024	3133	3109	3178	3523
3568	3763	4027	4343	4656	4866	5084			

5048	5188	4969	4797	4620	4275	3971	3727	3720	3654
3538	3339	3163	3104	2966	2894	2896	2958	3004	3031
3120	2951	2927	3080	2975	3041	3049	3061	3202	3318
3601	3727	3971	4279	4675	5035	5072			
5068	4988	5081	4787	4634	4339	3920	3796	3772	3577
3615	3322	3222	3202	3048	2992	2850	2885	2924	2960
3125	3191	3101	3136	3162	3133	3174	3118	3136	3494
3534	3692	3893	4325	4647	5094	5091			
5020	4995	5143	4808	4561	4118	3898	3723	3686	3651
3472	3410	3342	3237	3076	2996	2902	2925	2895	2968
2985	3137	3227	3315	3320	3304	3325	3276	3318	3376
3518	3748	4090	4327	4668	4977	5167			
5224	5129	5146	4835	4573	4285	3843	3722	3605	3644
3554	3554	3346	3272	3118	3031	2860	2860	2727	2849
2927	3122	3205	3229	3274	3378	3401	3455	3332	3360
3583	3808	4006	4263	4812	5061	5159			
5179	5174	5085	4895	4698	4317	3978	3747	3671	3577
3615	3484	3446	3359	3164	2998	2830	2730	2626	2715
2941	3013	3146	3319	3490	3544	3439	3373	3387	3292
3648	3918	4112	4361	4784	5119	5109			
5023	5138	4909	4882	4550	4209	3681	3696	3507	3558
3669	3477	3525	3481	3313	3100	2925	2631	2719	2720
2740	2923	3211	3259	3339	3514	3555	3560	3476	3443
3493	3718	3810	4313	4715	4896	5099			
4963	5012	4950	4789	4535	4122	3751	3588	3440	3434
3587	3507	3667	3484	3319	3081	2854	2695	2700	2788
2801	2969	2940	3173	3383	3490	3639	3701	3650	3539
3560	3689	4057	4262	4644	5018	5295			
5231	5101	5108	4869	4573	4135	3896	3534	3461	3333
3414	3592	3686	3500	3438	3114	2925	2733	2704	2729
2785	2828	2976	3143	3279	3629	3740	3580	3532	3517
3578	3798	3973	4477	4763	5123	5145			
5084	5069	4901	4704	4498	4060	3730	3488	3351	3228
3314	3470	3576	3488	3336	3079	3008	2771	2664	2669
2662	2811	2899	2969	3436	3592	3720	3677	3575	3564
3675	3701	3992	4411	4730	5062	5116			
4976	4918	4949	4699	4265	4110	3741	3469	3288	3227
3374	3467	3431	3470	3268	3071	2976	2860	2760	2756
2688	2789	2874	3035	3341	3605	3679	3550	3687	3661
3742	3891	4103	4329	4748	5219	5077			
5136	5052	4897	4712	4663	3978	3669	3575	3292	3134
3276	3266	3414	3387	3270	3236	3030	3075	2870	2734
2760	2761	2865	3059	3233	3414	3549	3529	3666	3695
4002	3891	4095	4450	4749	5105	5081			
4994	4888	4958	4699	4307	3911	3598	3360	3267	3244
3244	3198	3238	3216	3260	3170	3000	2944	3032	2856
2825	2760	2850	3098	3220	3352	3386	3522	3659	3873
3869	4006	4158	4576	4891	4956	5078			

5116	4882	4882	4775	4201	3818	3563	3386	3263	3183
3062	3080	3025	3049	3097	3083	2994	3023	2894	2995
2793	2850	2942	3103	3025	3279	3325	3543	3620	3801
4044	3930	4143	4596	4846	4944	5184			
5141	4907	4868	4709	4323	3865	3510	3386	3363	3214
3020	2969	3015	3105	3015	3068	3052	3124	2975	3175
2944	2999	2873	3049	3163	3176	3462	3504	3623	3851
4074	4214	4226	4599	4973	5118	5109			
5051	5016	4892	4573	4206	3773	3497	3358	3303	3144
3165	2982	3022	3070	3051	3036	3125	3204	3073	3114
3078	3017	2921	3045	3074	3270	3333	3438	3698	3870
4093	4230	4359	4615	4851	5125	5184			
5061	4939	4874	4630	4282	3822	3510	3381	3277	3042
2949	3051	2861	2954	2933	2962	2967	3243	3131	2955
3074	3217	3259	3088	3105	3094	3350	3482	3767	4003
4080	4180	4407	4689	5058	5102	5135			
5011	4885	4774	4564	4163	3726	3524	3216	3172	2972
2921	2842	3047	2846	2904	2885	2876	3125	3259	3233
3200	3350	3206	3157	3185	3154	3245	3561	3717	3862
4110	4251	4615	4761	5025	5130	5255			
4903	4820	4820	4482	4085	3726	3519	3277	3166	3056
2865	2994	2881	2981	2857	2884	2901	2900	3012	3256
3258	3304	3218	3243	3148	3177	3372	3513	3749	3877
4227	4408	4469	4821	4975	5031	5186			
5127	4790	4851	4427	4091	3733	3363	3271	3226	3087
2896	2866	2795	2926	2904	2884	2837	2919	3062	3148
3283	3290	3338	3217	3317	3264	3304	3531	3756	4065
4090	4351	4504	4832	4941	5086	5099			
5053	4888	4762	4432	4116	3639	3440	3309	3191	3111
2895	2880	2824	2898	2922	2768	2754	2924	2926	3150
3244	3345	3359	3313	3414	3350	3458	3486	3778	3948
4166	4317	4577	4775	5081	5176	5166			
4957	4711	4712	4339	3944	3560	3323	3221	3134	3012
2902	2894	2905	2875	2945	2854	2843	2841	2900	3037
3273	3240	3360	3348	3499	3539	3601	3712	3818	3942
4282	4233	4493	4792	5094	5186	5246			
4846	4910	4630	4388	3864	3535	3428	3286	3129	2941
2862	2916	2878	2826	2890	2868	2767	2817	2892	2936
3135	3130	3233	3420	3603	3690	3775	3781	3818	4025
4065	4265	4451	5067	5049	5099	5123			
4962	4878	4694	4202	3858	3503	3376	3231	3148	3053
2902	2822	2947	2898	2842	2980	2947	2816	2853	2925
2982	3188	3364	3533	3575	3721	3848	3873	3874	3958
4202	4271	4498	4962	5053	5061	5076			
4845	4830	4552	4116	3827	3469	3194	3336	3237	3035
2981	2832	2687	2763	2739	2857	2920	2881	2837	2855
2926	3024	3411	3593	3812	3814	4020	3980	3927	3964
3979	4258	4540	5043	5132	5007	5227			

4852	4778	4543	4156	3797	3491	3272	3219	3128	3113
2977	2824	2787	2751	2951	2916	2887	2957	2879	2767
2876	3102	3423	3648	3805	3914	3971	3912	4037	4006
4179	4322	4599	4943	5148	5194	5105			
4763	4737	4469	4071	3701	3395	3227	3110	3228	3107
2985	2804	2717	2745	2852	2970	3032	2901	2836	2768
2942	3071	3460	3687	3845	3918	3975	4072	4026	3918
4063	4318	4686	4972	5341	5104	5231			

A.II.5 - MATRIZ DE DATOS TOMO-F2

3606	3461	3420	3353	3217	3042	2940	2824	2792	2746
2677	2692	2625	2540	2320	2273	2034	2095	2120	2103
2267	2229	2228	2213	2190	2195	2260	2409	2495	2716
2649	2854	3039	3117	3543	3698	3670			
3594	3443	3449	3429	3281	3153	2821	2730	2889	2744
2832	2700	2655	2569	2348	2243	2107	2166	2169	2214
2248	2172	2126	2148	2159	2285	2314	2460	2503	2634
2731	2961	3062	3148	3458	3612	3516			
3642	3546	3510	3396	3233	3156	2950	2845	2799	2770
2782	2699	2583	2566	2417	2356	2154	2221	2156	2119
2130	2103	2160	2172	2137	2169	2285	2363	2531	2550
2657	2822	2946	3165	3379	3547	3620			
3694	3558	3580	3453	3329	3018	2944	2829	2779	2692
2711	2670	2697	2442	2431	2277	2214	2189	2178	2098
2087	2160	2229	2166	2229	2249	2300	2323	2313	2548
2651	2740	2886	3181	3298	3576	3550			
3540	3592	3566	3450	3228	3051	2905	2911	2741	2600
2610	2588	2594	2483	2295	2315	2352	2261	2232	2145
2131	2096	2173	2194	2210	2263	2230	2278	2343	2532
2682	2758	2860	3128	3264	3583	3668			
3610	3589	3602	3511	3381	3129	2929	2830	2868	2815
2619	2436	2480	2523	2338	2398	2266	2392	2170	2175
2098	2114	2149	2177	2212	2246	2312	2270	2409	2562
2619	2866	2890	3039	3323	3467	3675			
3575	3534	3545	3417	3348	3152	2932	2828	2776	2678
2573	2517	2416	2438	2321	2420	2327	2384	2253	2193
2128	2225	2148	2125	2189	2280	2275	2314	2264	2545
2648	2832	2978	3118	3255	3538	3610			
3671	3469	3467	3445	3358	3237	2963	2918	2722	2693
2608	2523	2455	2368	2310	2319	2297	2393	2220	2272
2114	2103	2204	2234	2205	2241	2362	2408	2376	2482
2730	2706	2861	3092	3370	3380	3624			
3638	3653	3566	3354	3435	3202	2956	2889	2692	2729
2593	2462	2358	2262	2251	2401	2393	2374	2324	2255
2209	2219	2132	2149	2214	2253	2408	2365	2331	2457
2580	2737	2903	3145	3322	3513	3697			
3669	3699	3564	3456	3308	3059	2938	3017	2785	2603
2572	2481	2377	2280	2252	2268	2199	2354	2280	2293
2241	2246	2204	2204	2221	2263	2249	2391	2470	2499
2632	2771	2879	3051	3286	3466	3717			
3584	3590	3589	3436	3379	3124	2953	2929	2694	2749
2508	2452	2524	2362	2367	2201	2226	2256	2276	2276
2305	2295	2264	2205	2236	2307	2357	2281	2445	2534
2705	2800	2901	3077	3306	3603	3725			

3624	3618	3583	3392	3342	3039	2944	2906	2773	2755
2558	2442	2490	2386	2304	2225	2228	2171	2198	2254
2316	2281	2335	2209	2404	2287	2319	2385	2351	2464
2680	2783	2887	3116	3199	3587	3548			
3718	3683	3485	3416	3375	3166	2972	2823	2736	2644
2536	2396	2420	2404	2324	2281	2228	2253	2310	2297
2213	2242	2338	2336	2333	2382	2389	2368	2506	2501
2736	2823	2879	3159	3262	3483	3593			
3586	3509	3613	3457	3298	3131	2857	2774	2751	2692
2650	2461	2423	2388	2309	2208	2132	2136	2153	2162
2243	2244	2349	2326	2400	2435	2478	2475	2502	2550
2677	2713	2997	3128	3295	3532	3483			
3547	3614	3540	3416	3362	3191	2930	2760	2707	2620
2616	2589	2402	2473	2431	2237	2141	2100	2106	2071
2199	2320	2336	2341	2417	2411	2422	2452	2488	2470
2610	2761	2849	3079	3325	3393	3595			
3589	3524	3523	3394	3403	3080	2894	2728	2713	2664
2583	2600	2516	2425	2314	2285	2192	2074	2140	2075
2169	2212	2187	2433	2448	2394	2439	2553	2685	2566
2738	2722	2900	3124	3288	3497	3546			
3509	3512	3530	3385	3320	3091	2880	2748	2650	2635
2600	2614	2454	2475	2408	2241	2180	2160	2026	2086
2121	2161	2202	2344	2419	2484	2592	2648	2644	2627
2665	2853	2880	3061	3359	3398	3568			
3643	3598	3356	3321	3264	2996	2878	2693	2655	2493
2525	2542	2441	2555	2382	2373	2075	2098	2135	2083
2160	2189	2311	2222	2507	2458	2658	2623	2642	2640
2683	2813	2985	3086	3320	3432	3580			
3532	3398	3423	3518	3264	2946	2812	2589	2462	2485
2602	2554	2515	2647	2477	2320	2227	2094	2102	2134
2117	2215	2136	2361	2489	2503	2666	2676	2715	2680
2662	2810	2897	3056	3263	3424	3535			
3591	3467	3547	3428	3243	3100	2858	2599	2613	2574
2508	2455	2486	2544	2384	2304	2302	2150	2111	2085
2091	2161	2166	2276	2297	2541	2699	2646	2623	2736
2846	2807	2966	3088	3355	3428	3521			
3603	3536	3482	3213	3207	2991	2813	2684	2569	2488
2398	2435	2507	2461	2394	2287	2254	2187	2142	2110
2051	2092	2232	2322	2475	2473	2590	2732	2686	2717
2887	2784	2902	3158	3333	3529	3538			
3497	3505	3350	3322	3288	2957	2801	2673	2493	2414
2400	2445	2442	2304	2379	2352	2325	2200	2273	2130
2015	2266	2212	2326	2286	2510	2562	2609	2735	2758
2800	2879	2921	3137	3311	3543	3604			
3566	3490	3414	3388	3179	2943	2770	2546	2534	2416
2392	2301	2359	2337	2316	2352	2241	2222	2155	2166
2150	2198	2106	2250	2365	2381	2645	2645	2774	2936
2889	2930	2986	3178	3377	3606	3498			

3528	3499	3439	3309	3198	2954	2727	2553	2519	2343
2416	2384	2398	2298	2359	2449	2335	2271	2338	2217
2281	2185	2336	2184	2350	2440	2521	2628	2674	2808
2828	3024	3159	3200	3500	3543	3558			
3520	3469	3430	3273	3189	2868	2664	2496	2544	2329
2309	2372	2276	2177	2302	2303	2302	2328	2272	2200
2299	2310	2180	2336	2324	2344	2539	2568	2798	2878
2813	3113	3095	3334	3410	3477	3700			
3531	3394	3415	3341	3109	2840	2604	2502	2468	2379
2328	2340	2283	2282	2281	2325	2279	2248	2348	2414
2278	2329	2317	2336	2369	2433	2433	2708	2762	2823
2909	2972	3108	3242	3447	3637	3725			
3559	3428	3472	3169	3089	2875	2640	2494	2474	2318
2274	2234	2282	2220	2102	2258	2262	2297	2266	2347
2236	2364	2392	2255	2369	2332	2561	2600	2791	2912
2996	2999	3116	3420	3522	3614	3712			
3541	3515	3386	3313	3032	2749	2669	2570	2368	2331
2329	2266	2234	2240	2118	2134	2249	2294	2287	2337
2401	2386	2349	2457	2517	2472	2464	2624	2806	2875
3042	3131	3179	3352	3449	3529	3619			
3651	3374	3225	3193	3109	2843	2590	2548	2319	2322
2270	2141	2216	2153	2234	2239	2198	2145	2350	2230
2287	2375	2417	2479	2478	2409	2420	2662	2796	2886
2859	3118	3177	3511	3480	3635	3730			
3501	3432	3354	3216	3046	2809	2540	2534	2391	2312
2281	2141	2091	2228	2246	2296	2124	2241	2172	2278
2389	2449	2479	2497	2467	2522	2574	2769	2875	2921
3017	3071	3242	3403	3576	3688	3697			
3496	3432	3402	3217	3019	2817	2578	2501	2357	2294
2266	2246	2139	2217	2188	2233	2199	2152	2155	2352
2406	2431	2379	2428	2538	2500	2582	2679	2903	2944
1468	3102	3250	3469	3570	3732	3588			
3414	3461	3345	3296	2976	2652	2527	2572	2409	2237
2208	2177	2161	2193	2206	2181	2160	2053	2239	2276
2375	2337	2441	2438	2510	2521	2748	2761	2796	2981
2942	3132	3163	3303	3595	3645	3611			
3352	3450	3379	3092	2892	2669	2555	2375	2516	2337
2188	2193	2123	2120	2172	2090	2184	2200	2317	2244
2422	2334	2373	2458	2654	2727	2738	2820	2938	3050
2966	3145	3278	3456	3626	3667	3725			
3441	3494	3316	3112	2878	2654	2608	2503	2432	2311
2217	2133	2113	2158	2171	2155	2207	2272	2103	2180
2265	2459	2381	2509	2612	2693	2939	2832	3000	3027
3103	3153	3261	3467	3604	3683	3634			
3491	3368	3312	3150	2848	2684	2505	2474	2333	2229
2287	2106	2117	2123	2205	2170	2191	2301	2194	2310
2216	2304	2426	2570	2819	2822	2979	2882	2912	3094
2978	3121	3343	3496	3603	3688	3714			

3424	3350	3307	3096	2826	2665	2536	2430	2359	2344
2318	2176	2162	2112	2144	2236	2246	2232	2175	2166
2242	2279	2531	2603	2718	2898	2904	2799	3043	3017
2915	3155	3222	3554	3681	3647	3831			
3379	3420	3145	3022	2863	2686	2449	2454	2400	2305
2296	2102	2070	2117	2278	2201	2245	2162	2205	2221
2234	2341	2542	2648	2790	2863	2915	2963	3041	3050
3015	3102	3406	3490	3578	3709	3633			

A.II.6 - MATRIZ DE DADOS TOMO-RØ

2919	2914	2819	2699	2370	2342	2236	2248	2236	2297
2201	2217	2011	1874	1760	1599	1602	1650	1638	1607
1703	1668	1593	1591	1592	1769	1824	1861	1962	2021
2089	2295	2512	2769	2975	3039	3015			
2872	2994	2895	2686	2452	2261	2186	2136	2178	2269
2253	2085	1995	1919	1756	1629	1610	1678	1666	1687
1725	1665	1620	1674	1649	1752	1759	1813	1922	2001
2104	2342	2420	2783	2898	2960	2967			
3056	2996	2857	2696	2377	2292	2260	2152	2281	2155
2243	2192	1984	1913	1823	1707	1739	1614	1589	1621
1690	1704	1726	1659	1692	1684	1708	1827	1952	2027
2088	2209	2483	2808	2992	2990	2997			
2980	2918	2919	2684	2398	2324	2285	2148	2131	2110
2213	2110	2014	1886	1841	1706	1700	1557	1682	1652
1703	1643	1667	1742	1660	1701	1729	1797	1911	2075
2113	2239	2530	2776	2988	3025	3022			
2966	2936	2967	2699	2449	2315	2212	2311	2112	2133
2099	2090	2046	1871	1822	1784	1775	1654	1603	1677
1620	1717	1735	1686	1757	1719	1752	1840	1921	1979
2129	2243	2423	2686	3040	3037	3065			
3037	2963	2932	2769	2442	2283	2295	2236	2144	2030
1991	2058	2031	1854	1872	1793	1801	1667	1577	1587
1629	1746	1754	1782	1736	1745	1628	1750	1844	2001
2097	2252	2489	2678	2934	3073	3019			
2946	2962	2898	2809	2516	2375	2223	2235	2119	2042
2060	1978	1937	2003	1803	1880	1858	1725	1626	1544
1596	1641	1766	1803	1726	1686	1749	1703	1858	2097
2054	2251	2502	2786	2988	2970	3006			
2942	2955	2896	2711	2549	2407	2277	2191	2097	2010
1981	2036	1972	1919	1827	1842	1834	1720	1686	1605
1545	1593	1668	1813	1699	1678	1668	1843	1964	1937
2068	2298	2458	2812	2940	3033	2989			
3051	2871	2898	2780	2522	2311	2281	2114	2117	2005
1913	1878	1862	1868	1878	1908	1908	1793	1657	1585
1630	1600	1742	1740	1817	1740	1770	1781	1784	1965
2091	2220	2351	2725	2919	3017	2932			
3005	2968	2879	2744	2524	2297	2362	2205	2101	2059
1983	2027	1869	1808	1904	1864	1816	1833	1672	1554
1585	1649	1754	1680	1824	1715	1702	1812	1853	1917
2173	2252	2428	2786	2992	2969	2936			

2999	2925	2888	2799	2651	2401	2321	2238	2190	2036
1876	1909	1792	1808	1834	1858	1896	1907	1728	1624
1477	1617	1757	1789	1747	1688	1774	1720	1917	1973
2107	2267	2451	2797	2943	2951	3073			
2942	2942	2890	2790	2609	2396	2310	2136	2081	2014
1912	1837	1872	1796	1964	1880	1877	1792	1719	1567
1629	1551	1840	1722	1726	1666	1724	1737	1842	1952
2122	2200	2310	2742	2952	3009	2959			
3000	2856	2843	2814	2475	2443	2259	2186	2100	1986
2018	1854	1717	1796	1860	1949	2049	1840	1764	1689
1604	1626	1731	1760	1733	1664	1732	1759	1878	1900
2103	2247	2441	2705	2959	3136	2968			
2941	2955	2855	2824	2577	2407	2335	2219	2127	2045
1972	1851	1687	1734	1864	1891	1920	1877	1740	1682
1669	1679	1664	1722	1744	1750	1706	1774	1848	2013
2137	2221	2458	2723	2776	2849	3018			
2956	3035	2923	2820	2645	2438	2245	2251	2141	2020
1903	1788	1800	1702	1815	1977	1956	1825	1740	1738
1652	1664	1665	1691	1747	1759	1736	1805	1854	2025
2071	2313	2368	2659	2915	3030	3042			
3062	2994	2832	2806	2623	2357	2337	2199	2158	1993
1924	1812	1833	1649	1841	1870	1918	1845	1756	1812
1658	1725	1654	1722	1757	1699	1755	1735	1831	2000
2091	2262	2299	2653	2913	2994	2989			
2965	3074	2864	2762	2644	2365	2343	2256	2089	2024
1935	1825	1776	1717	1793	1791	1896	1893	1813	1875
1732	1817	1659	1688	1712	1764	1737	1736	1918	1936
2120	2106	2342	2545	2887	3040	3003			
3053	3024	3020	2814	2510	2378	2306	2214	2073	1998
2010	1851	1783	1700	1688	1762	1883	1803	1774	1750
1764	1758	1700	1725	1742	1826	1749	1771	1805	2000
2066	2141	2381	2685	2800	3032	2975			
2945	2938	2946	2833	2566	2368	2294	2172	2136	2067
1945	1835	1801	1768	1727	1734	1841	1781	1828	1863
1786	1761	1615	1669	1666	1822	1813	1810	1857	1909
2163	2203	2524	2622	2867	3076	3016			
2924	2922	2852	2842	2549	2342	2220	2244	2071	2000
1958	1912	1759	1657	1636	1765	1683	1768	1823	1766
1770	1777	1702	1683	1755	1779	1758	1760	1821	1944
2100	2171	2276	2652	2910	2968	2920			
2959	2953	2929	2906	2533	2339	2279	2196	2146	2055
2008	1961	1814	1760	1732	1732	1773	1715	1820	1837
1821	1794	1708	1734	1724	1767	1753	1830	1904	1942
2107	2164	2338	2583	2873	3009	3019			
3004	2990	2850	2820	2578	2376	2207	2207	2122	2089
1996	1901	1874	1758	1668	1658	1646	1738	1724	1750
1790	1794	1717	1894	1767	1842	1841	1812	1828	1980
2149	2185	2336	2621	2880	3034	3024			

3017	2957	2890	2820	2564	2306	2220	2222	2081	2017
2035	1874	1896	1751	1634	1643	1608	1762	1742	1771
1802	1781	1839	1711	1835	1741	1848	1877	1896	2017
2028	2162	2407	2647	2818	3025	3077			
2851	2949	2912	2733	2594	2351	2276	2197	2098	2105
2040	1939	1869	1778	1670	1661	1672	1645	1736	1742
1817	1771	1827	1826	1890	1738	1718	1779	1892	1994
2131	2179	2394	2582	2884	3029	3008			
2996	2865	2884	2772	2659	2244	2194	2092	2103	2049
1965	1940	1938	1825	1730	1572	1664	1632	1647	1756
1770	1781	1805	1878	1880	1776	1846	1825	1890	1961
2058	2138	2300	2600	2938	3008	2936			
3032	3022	2876	2782	2597	2326	2195	2140	2101	1949
1993	1950	1923	1842	1636	1643	1608	1604	1699	1729
1777	1793	1902	1860	1894	1799	1856	1783	1799	1976
2066	2177	2367	2616	2942	3036	3071			
3033	2913	2984	2797	2615	2228	2102	2092	2173	2061
2075	2052	1872	1927	1696	1658	1596	1590	1598	1651
1756	1822	1884	1806	1941	1856	1938	1910	1874	1925
2127	2197	2230	2581	2851	3011	3033			
2935	3009	2983	2809	2517	2331	2268	2097	2118	2073
2102	2027	1943	1895	1690	1602	1551	1525	1612	1627
1766	1798	1878	1902	1996	1956	1914	1877	1818	1937
2008	2167	2391	2562	2805	3027	2936			
2941	2902	2867	2834	2614	2311	2106	2096	2085	2124
2033	1964	1991	1859	1772	1656	1592	1574	1573	1571
1655	1779	1821	1854	1974	1971	1963	1930	1906	1882
2064	2233	2368	2620	2826	3019	2944			
3045	2867	2737	2745	2603	2281	2082	2066	2096	2051
2096	2122	2027	1936	1860	1636	1595	1533	1574	1581
1661	1750	1912	1967	2066	2015	1939	1948	1903	1905
1999	2207	2360	2677	2904	3027	2996			
2857	2872	2783	2834	2564	2300	2105	2058	2121	2029
2046	2115	1987	1983	1793	1644	1621	1521	1549	1536
1655	1739	1868	1851	2063	2096	2005	1941	1856	1877
1999	2200	2305	2594	2879	2933	2857			
2962	2960	2926	2784	2600	2234	2111	2030	2025	2030
2013	2044	1983	1964	1922	1581	1504	1514	1561	1505
1653	1778	1794	1928	1874	2099	2009	2003	1940	1839
1977	2199	2276	2547	2858	3055	3014			
3051	2964	2909	2646	2607	2323	2063	2026	2004	2101
2104	2084	2064	1943	1876	1640	1491	1419	1497	1547
1621	1742	1764	1930	1938	2064	2116	2126	1936	1931
2014	2122	2379	2563	2874	3020	3062			
2893	2895	2912	2736	2518	2272	2026	1905	1877	1997
2063	1984	2131	2082	1890	1633	1564	1503	1449	1549
1614	1627	1735	1909	1979	2011	2002	2111	1975	1880
2050	2172	2389	2606	2837	2944	3052			

2930	2980	2771	2782	2652	2251	2125	1961	1841	2026
2079	2131	2146	1956	1900	1661	1545	1471	1517	1563
1536	1648	1809	1933	2114	2100	2123	2020	2021	1986
1993	2184	2386	2586	2822	3050	2996			
2971	2993	2864	2817	2603	2286	2094	1929	1886	2037
2098	2105	2143	1992	1907	1715	1540	1560	1520	1527
1517	1602	1725	1813	2004	2118	2160	2119	1965	1983
2023	2167	2317	2630	2887	2981	2991			
2977	2906	2929	2782	2587	2218	2074	2028	1900	1986
2042	2103	2158	2011	1852	1768	1564	1532	1537	1491
1647	1588	1710	1933	2040	2195	2190	2173	1919	1978
2025	2161	2271	2600	2785	3015	2979			
2960	3010	2877	2759	2486	2244	2092	1945	1885	1893
2023	2105	2169	2097	1866	1713	1633	1518	1429	1501
1530	1666	1782	1884	2070	2150	2055	2092	2044	2068
2058	2132	2307	2596	2898	2948	2988			
3041	3018	2908	2711	2594	2193	1984	1873	1929	1936
~~1982~~	~~2110~~	~~2117~~	~~2118~~	~~1900~~	~~1738~~	~~1672~~	~~1573~~	~~1506~~	~~1516~~
1567	1675	1689	1931	2037	2188	2148	2059	2019	2028
2039	2167	2373	2624	2863	2926	2979			
3027	2920	2845	2805	2674	2323	2007	1965	1904	1861
1935	2020	2109	2018	1873	1789	1693	1587	1528	1551
1561	1586	1659	1760	2070	2078	2145	2053	2070	2020
2131	2145	2290	2642	2878	2874	2991			
2978	2827	2925	2686	2658	2224	1985	1981	1889	1819
1936	2070	2062	2036	1989	1787	1666	1704	1568	1533
1558	1562	1649	1790	2053	2059	2036	2076	2086	2002
2095	2226	2419	2625	2853	2908	3102			
2934	2986	2894	2797	2479	2215	2036	1936	1813	1832
1932	1952	2074	1980	1896	1784	1674	1667	1511	1461
1542	1599	1677	1829	1995	2019	2115	2154	2080	2100
2173	2229	2405	2640	2815	2907	3103			
2997	3038	2930	2768	2603	2266	2077	1857	1868	1979
1909	1959	2017	1944	1893	1812	1692	1621	1530	1539
1501	1664	1747	1878	1932	2081	2103	2071	2124	2164
2161	2221	2308	2531	2832	2981	2918			
3017	3008	2880	2783	2611	2270	2076	1931	1821	1810
1850	1791	1896	1877	1921	1872	1701	1683	1702	1558
1585	1581	1614	1747	1825	2023	2006	2008	2120	2158
2155	2229	2359	2642	2909	3130	3006			
2972	2933	2842	2779	2533	2153	2125	1928	1883	1886
1859	1811	1913	1925	1858	1804	1805	1726	1617	1639
1581	1601	1772	1813	1841	2061	2097	2107	2110	2124
2235	2273	2369	2666	2908	2911	3119			
2970	2918	2782	2797	2569	2192	2084	2010	1921	1909
1816	1750	1850	1900	1779	1851	1751	1736	1688	1557
1499	1591	1635	1795	1797	2045	2005	2078	2163	2218
2258	2387	2358	2648	2927	2988	2962			

2840	2950	2931	2757	2555	2169	2068	1990	1950	1814
1803	1827	1742	1905	1884	1921	1814	1670	1739	1594
1567	1583	1685	1724	1823	1920	2054	2040	2093	2166
2262	2335	2370	2630	2908	2925	3034			
3050	2945	2744	2753	2601	2241	2069	2025	1815	1875
1834	1790	1784	1780	1914	1718	1745	1735	1748	1615
1671	1611	1761	1668	1823	1956	1974	2019	2267	2232
2308	2293	2483	2616	2883	3002	3075			
2969	2887	2827	2770	2587	2214	2136	1874	1847	1843
1828	1706	1637	1756	1710	1798	1753	1714	1700	1719
1663	1639	1678	1753	1761	1935	1956	2006	2068	2243
2302	2417	2491	2621	2757	2989	3008			
2996	2962	2927	2795	2549	2237	1975	1932	1887	1895
1709	1780	1899	1793	1810	1818	1729	1788	1726	1743
1757	1717	1662	1710	1751	1906	1871	1994	2127	2195
2285	2292	2515	2569	2949	2927	2999			
2981	2908	2924	2705	2483	2214	2036	1892	1905	1795
1775	1696	1717	1746	1729	1732	1724	1777	1737	1782
1719	1739	1684	1685	1782	1832	1909	2019	2183	2283
2271	2428	2405	2637	2836	2995	2940			
2973	2954	2857	2703	2609	2310	2016	1973	1890	1828
1814	1676	1713	1713	1677	1819	1807	1805	1804	1851
1790	1706	1716	1714	1738	1842	1894	2070	2200	2229
2355	2454	2515	2721	2940	2949	3010			
2982	2983	3015	2667	2512	2221	2044	2025	1966	1768
1630	1757	1633	1644	1724	1678	1746	1817	1855	1803
1864	1837	1772	1709	1825	1902	1914	1964	2202	2149
2246	2470	2495	2627	2938	3058	3012			
2938	2951	2786	2739	2523	2181	2064	1875	1990	1777
1779	1695	1675	1714	1669	1684	1793	1791	1897	1916
1805	1795	1733	1712	1725	1780	1838	2015	2135	2164
2371	2375	2532	2879	2887	3028	3012			
3040	2940	2816	2717	2584	2200	2016	1988	1940	1891
1740	1754	1721	1670	1604	1673	1789	1889	1871	1896
1819	1768	1820	1798	1776	1760	1883	1995	2089	2203
2337	2403	2538	2583	2855	2968	3023			
2927	2919	2779	2707	2538	2200	2009	1953	1879	1736
1650	1695	1728	1656	1701	1689	1701	1785	1875	1867
1874	1827	1828	1792	1795	1827	1856	2160	2144	2260
2318	2405	2583	2785	2917	3021	3039			
2989	2977	2869	2720	2472	2166	2075	1993	1843	1799
1692	1638	1743	1722	1648	1681	1731	1780	1731	1788
1895	1894	1893	1848	1761	1792	1981	2093	2129	2259
2389	2462	2605	2734	2923	2963	3038			
2933	3018	2845	2702	2504	2159	2001	1899	1884	1768
1723	1643	1718	1669	1625	1678	1649	1823	1758	1829
1923	1919	1865	1783	1727	1825	1952	1996	2114	2207
2262	2449	2575	2773	2958	2959	2961			

2939	2923	2802	2764	2434	2220	2037	1936	1873	1788
1697	1667	1727	1675	1639	1630	1684	1737	1744	1850
1883	2023	1882	1818	1757	1821	1909	2140	2097	2251
2297	2448	2561	2667	2943	2973	3022			
3002	2883	2919	2747	2507	2113	2032	1951	1889	1841
1674	1666	1698	1679	1666	1688	1696	1600	1859	1843
2010	1922	1921	1857	1810	1756	1958	2062	2179	2230
2381	2481	2555	2658	3063	2943	3060			
2963	2893	2900	2676	2376	2241	2036	2036	1984	1817
1674	1663	1675	1616	1694	1710	1684	1641	1644	1793
1907	1948	1907	1858	1811	1850	1929	2082	2163	2251
2360	2559	2618	2803	3045	3070	3014			
2933	2891	2872	2637	2423	2216	1991	1934	1847	1712
1733	1700	1710	1669	1710	1625	1553	1630	1737	1821
1867	1881	1929	1852	1938	1860	1987	2055	2158	2315
2384	2525	2652	2771	2929	2975	2973			
2915	2805	2859	2734	2443	2185	2086	1913	1882	1765
1714	1692	1695	1706	1689	1649	1611	1623	1777	1860
1840	1954	1939	1905	1839	1898	2030	2094	2179	2204
2325	2402	2473	2716	2981	2970	3126			
2918	3001	2877	2632	2404	2187	1996	1912	1781	1740
1716	1597	1672	1713	1655	1613	1588	1661	1606	1817
1875	1861	1961	1982	1993	1991	1970	2056	2105	2287
2345	2461	2602	2836	2985	2983	3133			
2908	2979	2931	2683	2378	2163	1971	1931	1944	1803
1703	1636	1655	1794	1656	1661	1634	1588	1652	1783
1818	1930	1843	1928	1980	2021	2089	2150	2196	2276
~~2275~~	~~2468~~	~~2535~~	~~2809~~	~~2995~~	~~3154~~	~~3056~~			
3063	2927	2887	2674	2264	2134	1957	1887	1831	1693
1649	1602	1635	1790	1699	1677	1684	1575	1692	1752
1809	1896	1889	1890	1952	2094	2095	2148	2183	2212
2289	2457	2551	2819	2987	3062	2981			
2995	2790	2828	2655	2357	2220	2028	1877	1807	1812
1758	1601	1669	1702	1708	1662	1649	1559	1644	1731
1786	1915	1917	1892	2050	2014	2131	2193	2168	2216
2265	2485	2449	2823	2888	2987	2939			
2927	2899	2784	2672	2352	2114	1966	1907	1898	1787
1699	1650	1601	1715	1691	1651	1707	1611	1625	1698
1823	1829	1787	1936	2078	2128	2201	2121	2164	2227
2311	2399	2626	2776	2989	2999	2956			
2983	2826	2866	2566	2298	2138	1986	1942	1935	1776
1661	1690	1646	1684	1672	1711	1666	1656	1636	1703
1719	1845	1904	2008	1998	2159	2097	2310	2191	2284
2438	2444	2560	2850	3007	3152	2971			
2916	2842	2826	2566	2353	2125	1987	1928	1950	1762
1696	1641	1649	1637	1739	1641	1616	1650	1634	1584
1673	1814	1956	1973	2114	2234	2218	2202	2159	2233
2315	2454	2515	2806	3032	3010	3044			

3007	2902	2903	2590	2335	2123	1978	1905	1799	1799
1677	1693	1635	1670	1617	1662	1742	1687	1590	1656
1715	1710	1834	1950	2142	2211	2239	2279	2271	2247
2321	2435	2523	2868	2873	2963	2975			
3010	2885	2756	2594	2310	2084	2015	1856	1926	1798
1601	1663	1606	1553	1616	1672	1696	1630	1605	1703
1688	1707	1809	1993	2120	2270	2343	2300	2133	2182
2259	2408	2595	2962	2973	3016	2973			
2958	2826	2769	2533	2242	2109	1990	1839	1895	1737
1741	1598	1665	1578	1644	1636	1682	1716	1616	1595
1614	1733	1769	2032	2200	2314	2343	2345	2297	2284
2308	2439	2519	2852	2968	2974	3058			
2912	2948	2833	2627	2217	2133	1983	1921	1919	1805
1811	1643	1599	1679	1586	1730	1745	1683	1609	1585
1569	1722	1838	2014	2213	2343	2308	2323	2306	2268
2250	2387	2546	2793	3011	2996	3014			
2939	2869	2773	2513	2291	2011	1921	1895	1832	1754
1809	1721	1526	1597	1681	1760	1761	1709	1747	1566
1648	1718	1863	2009	2229	2315	2382	2387	2286	2243
2231	2368	2610	2863	3103	2924	3015			
2885	2917	2774	2560	2252	2107	1959	1916	1892	1761
1705	1573	1605	1606	1661	1712	1760	1692	1601	1626
1572	1677	1880	2007	2242	2303	2372	2366	2187	2271
2193	2324	2664	2927	2994	2989	2967			
2910	2885	2717	2467	2176	2024	1896	1826	1875	1787
1820	1534	1569	1671	1654	1723	1783	1749	1636	1585
1687	1659	1849	2076	2232	2301	2342	2383	2268	2262
2198	2377	2581	2924	2900	3001	2962			
2935	2775	2729	2430	2171	2065	1935	1928	1848	1792
1722	1664	1589	1640	1658	1686	1834	1744	1729	1531
1639	1659	1903	2122	2250	2340	2349	2347	2311	2279
2315	2383	2507	2886	2996	3065	3009			

A.II.7 - MATRIZ DE DADOS TOMO-R1

2929	2835	2813	2651	2356	2131	2249	2198	2318	2250
2181	2163	2003	1851	1667	1589	1631	1529	1667	1790
1805	1709	1685	1665	1679	1748	1892	1839	1945	2080
2063	2356	2483	2746	3034	3117	2937			
2958	2898	2907	2636	2411	2222	2190	2167	2325	2327
2260	2069	2120	1928	1690	1570	1624	1572	1680	1684
1693	1659	1708	1628	1706	1732	1864	1852	1909	1967
2200	2339	2538	2884	2919	3081	3011			
2896	2900	2917	2696	2395	2300	2197	2216	2182	2286
2290	2163	2057	1828	1857	1666	1656	1677	1596	1658
1678	1637	1574	1627	1663	1751	1793	1835	1959	1975
2065	2249	2479	2848	3046	2995	3030			
3000	2886	3003	2659	2371	2352	2312	2272	2113	2143
2273	2049	2029	1858	1806	1733	1734	1573	1627	1566
1686	1674	1687	1717	1664	1656	1751	1845	1877	2032
2136	2290	2503	2802	2899	2956	2917			
2990	2963	2896	2796	2363	2336	2194	2264	2152	2130
2010	2011	1983	1966	1837	1771	1858	1746	1580	1615
1616	1721	1664	1735	1820	1783	1676	1884	1900	2043
2089	2197	2373	2732	2964	3036	3047			
2877	2973	2961	2797	2453	2379	2387	2174	2161	2075
1900	1990	1928	1897	1924	1855	1937	1793	1680	1615
1635	1630	1748	1749	1748	1729	1783	1844	1834	2027
2077	2323	2387	2758	2832	2996	2978			
3044	2975	2979	2803	2557	2357	2346	2322	2118	2003
1933	1934	1722	1852	1945	1911	1888	1761	1726	1635
1581	1657	1703	1772	1723	1779	1730	1851	1906	2015
2103	2181	2335	2721	2971	2918	3033			
2980	3059	2838	2817	2613	2279	2302	2223	2115	2055
1920	1834	1781	1884	1864	1924	1994	1934	1767	1682
1559	1667	1754	1710	1759	1712	1688	1815	1890	2024
2097	2185	2340	2618	2962	2995	3044			
2999	2916	2946	2787	2619	2442	2354	2162	2113	2010
1910	1818	1781	1818	1896	1957	1878	1936	1751	1884
1710	1698	1539	1763	1708	1753	1816	1774	1831	1982
2134	2261	2482	2774	2890	3095	2884			
3002	2925	2913	2721	2571	2315	2334	2128	2175	2049
1957	1841	1821	1705	1740	1750	1868	1807	1861	1776
1821	1747	1701	1681	1787	1766	1810	1813	1866	2057
2057	2191	2325	2729	2909	2982	3045			
3028	2950	2881	2749	2543	2343	2322	2286	2170	2088
2052	1876	1742	1740	1747	1725	1726	1755	1823	1885
1781	1742	1660	1718	1817	1822	1857	1773	1883	1936
2055	2217	2396	2749	2837	3067	2983			

2903	2930	2947	2843	2581	2448	2240	2191	2188	2080
2068	1995	1790	1702	1683	1639	1635	1774	1781	1842
1798	1896	1826	1742	1785	1818	1759	1815	1859	1982
2088	2188	2288	2687	2976	3124	3008			
3055	2863	2889	2798	2602	2379	2219	2229	2089	2090
1961	2000	1844	1915	1661	1679	1602	1647	1687	1724
1777	1838	1779	1893	1859	1882	1823	1797	1893	2023
2081	2166	2398	2586	2873	3043	2980			
2915	2962	2953	2848	2540	2278	2220	2202	2105	2021
2018	2047	2034	1878	1688	1660	1615	1647	1605	1659
1752	1793	1974	1898	1877	1961	1833	1822	1778	1947
2071	2188	2345	2547	2816	2949	3074			
2979	2937	2918	2853	2598	2355	2156	2123	2198	2090
2062	1968	1922	1884	1794	1655	1569	1502	1578	1556
1764	1761	1842	1972	1996	1960	1899	1952	1901	1989
2084	2153	2365	2607	2800	3045	3060			
3049	2995	2959	2734	2639	2220	2066	2097	1990	2074
2002	2054	2007	1967	1796	1661	1515	1495	1567	1575
1639	1773	1831	1960	2068	1963	2040	1910	1847	1958
1966	2202	2437	2624	2831	2964	3019			
3094	3049	2983	2736	2638	2339	2089	2048	1986	2033
2129	2138	2108	2013	1909	1788	1562	1519	1549	1552
1536	1597	1891	1924	2034	2137	2104	2060	1948	1973
2024	2112	2345	2664	2728	3041	2997			
3068	2960	2862	2771	2598	2256	2008	2024	1928	1924
2032	2091	2149	2060	1952	1676	1596	1551	1494	1645
1619	1618	1722	1877	2040	2149	2175	2037	2032	1907
2084	2128	2348	2594	2904	2903	2941			
2939	2966	2930	2820	2581	2292	2095	1974	1951	1879
1941	2158	2085	2036	1915	1719	1567	1465	1507	1466
1572	1585	1661	1837	2079	2083	2147	2090	2048	2067
2071	2186	2322	2595	2880	2926	3009			
3001	2919	2935	2773	2591	2274	2066	1951	1875	1887
1971	2123	2117	2006	1894	1801	1714	1608	1488	1460
1579	1561	1666	1802	2109	2199	2086	2065	2062	1999
2093	2227	2283	2521	2873	3000	2998			
3074	3028	2848	2799	2586	2276	2063	2010	1861	1856
1917	1903	2148	2077	1883	1848	1718	1599	1602	1503
1529	1559	1649	1868	1996	2068	2065	2049	2034	2173
2182	2202	2431	2697	2826	3062	3120			
3095	2933	2945	2717	2628	2278	2124	1966	1874	1840
1888	1844	1907	1953	1819	1808	1819	1741	1722	1595
1577	1598	1709	1809	1884	2022	2067	2065	2156	2117
2155	2213	2357	2612	2845	3020	2968			
3043	2958	2872	2892	2567	2257	2094	1940	1855	1877
1860	1841	1720	1909	1903	1770	1761	1817	1699	1615
1528	1681	1697	1838	1769	2000	1972	2072	2092	2223
2338	2436	2359	2537	2940	3023	2897			

3075	2998	2888	2833	2592	2228	2112	1959	1857	1759
1815	1747	1809	1764	1790	1742	1724	1769	1798	1713
1668	1643	1619	1755	1748	1954	2034	2017	2122	2190
2327	2415	2430	2727	2869	3088	3029			
2872	2870	2906	2789	2456	2323	2076	1980	1880	1766
1759	1699	1756	1721	1728	1728	1874	1774	1755	1784
1820	1758	1664	1716	1758	1879	1937	2059	2170	2262
2353	2438	2506	2634	2912	3073	3070			
2955	2914	2866	2753	2518	2134	1993	1870	1914	1851
1736	1731	1747	1687	1738	1732	1783	1881	1928	1900
1836	1714	1814	1742	1805	1784	1949	2108	2138	2306
2360	2478	2532	2760	2901	3057	3002			
2927	2877	2903	2739	2537	2269	2030	1967	1928	1721
1675	1786	1688	1696	1669	1660	1722	1831	1826	1787
1885	1828	1873	1747	1717	1837	1901	2116	2225	2350
2363	2389	2518	2730	2951	2912	3076			
2953	2879	2942	2728	2416	2199	1989	1917	1806	1727
1639	1753	1652	1705	1630	1593	1714	1747	1862	1829
1869	1896	1966	1878	1807	1859	2005	2003	2178	2355
2368	2463	2607	2735	2933	2974	2982			
2951	2958	2893	2636	2504	2170	1977	2027	1925	1797
1724	1713	1640	1658	1617	1750	1650	1662	1751	1905
1845	1937	1939	1837	1871	1810	1915	2056	2149	2195
2390	2537	2652	2785	2893	2972	3006			
2920	2940	2857	2718	2451	2078	2026	1959	1855	1779
1677	1677	1689	1717	1730	1671	1575	1604	1702	1810
1943	1932	1933	1908	1749	1879	1970	2090	2102	2222
2371	2550	2571	2812	3012	2992	3034			
2904	2973	2815	2647	2395	2145	2121	1910	1857	1702
1704	1638	1691	1748	1681	1684	1647	1644	1695	1840
1909	1872	1965	1886	1912	1925	2010	2085	2143	2221
2298	2494	2562	2828	3028	2993	2917			
2955	2931	2842	2611	2363	2162	2030	1961	1881	1718
1688	1668	1770	1779	1693	1676	1654	1551	1684	1741
1886	1884	1930	1981	2016	2032	2112	2149	2083	2341
2360	2434	2525	2800	2924	3091	2952			
2925	2897	2795	2589	2243	2139	1947	1902	1864	1800
1671	1645	1649	1570	1692	1710	1712	1632	1683	1608
1672	1832	1907	2008	2104	2220	2215	2241	2129	2210
2344	2406	2629	2869	2965	3090	3059			
3023	2910	2839	2593	2289	2050	1921	1962	1866	1750
1763	1647	1657	1563	1633	1674	1712	1734	1621	1671
1671	1894	1870	2004	2254	2265	2276	2242	2197	2199
2305	2417	2517	2808	2933	2989	2991			
2827	2883	2815	2461	2259	2063	2013	1910	1892	1779
1720	1706	1573	1626	1667	1640	1728	1678	1661	1630
1611	1716	1927	2050	2187	2299	2274	2250	2322	2241
2319	2465	2652	2918	3099	2957	3033			

2960	2848	2817	2465	2223	1957	1955	1837	1850	1730
1754	1626	1697	1576	1701	1727	1718	1729	1595	1627
1611	1748	1848	2081	2207	2312	2375	2240	2333	2304
2316	2479	2724	3003	3059	2830	3120			
2963	2793	2752	2417	2134	2014	1905	1756	1866	1852
1664	1665	1579	1594	1648	1698	1754	1740	1605	1542
1593	1759	1906	2168	2310	2324	2322	2258	2372	2246
2247	2452	2709	2980	3084	3081	2932			

A.II.8 - MATRIZ DE DADOS TOMO-R2

2969	2806	2428	2129	2300	2297	2026	1676	1574	1777
1763	1624	1703	1911	1817	2146	2592	3012	2943	
2987	2865	2392	2279	2240	2166	2108	1819	1706	1616
1714	1726	1677	1817	1901	2153	2480	2882	2942	
2914	2924	2495	2240	2093	2042	2013	1917	1828	1621
1560	1664	1749	1693	1914	2133	2461	2948	2972	
2962	2960	2542	2311	2069	1987	1816	1881	1885	1721
1560	1740	1814	1694	1836	2050	2455	2879	3048	
2991	2885	2472	2250	2107	1933	1747	1767	1918	1837
1723	1668	1670	1875	1825	2097	2373	2882	2996	
3033	2918	2562	2343	2172	1994	1705	1729	1748	1815
1830	1728	1725	1765	1784	2018	2371	2912	2993	
2939	2950	2578	2218	2142	1962	1865	1745	1556	1744
1764	1838	1866	1789	1877	2027	2323	2815	3021	
3073	3033	2698	2173	2002	2027	1963	1727	1560	1537
1711	1828	1979	1944	1889	2018	2351	2828	3038	
2970	2842	2548	2120	2018	2072	2103	1857	1549	1509
1569	1777	2006	2052	1886	2043	2331	2836	3083	
3044	2909	2624	2170	1901	1950	2106	2019	1630	1491
1603	1657	2092	2066	2036	2016	2372	2884	3074	
2991	2869	2535	2082	1901	1877	2022	1907	1655	1661
1531	1683	2042	2061	2125	2192	2405	2924	3013	
2992	2867	2613	2065	1899	1870	1832	1881	1780	1674
1545	1689	1853	1966	2070	2252	2391	2833	3103	
2990	2880	2526	2167	1933	1750	1776	1845	1842	1845
1739	1703	1782	1920	2123	2309	2631	2969	3013	
3002	2900	2565	2069	1899	1787	1724	1652	1747	1862
1828	1814	1725	1923	2161	2331	2560	2912	2974	
3000	2882	2438	2104	1880	1703	1692	1737	1658	1723
1898	1977	1795	1896	2139	2392	2540	2955	3092	
2945	2794	2414	1985	1881	1736	1674	1715	1617	1706
1874	1949	1947	2046	2166	2427	2626	2974	2886	
2987	2683	2299	1992	1820	1700	1686	1641	1652	1656
1752	1892	2052	2192	2164	2395	2508	2966	2948	
2923	2780	2289	1958	1792	1704	1625	1671	1717	1643
1609	1877	2317	2294	2228	2255	2575	2999	3048	
2892	2763	2238	1991	1797	1799	1627	1577	1694	1666
1527	1919	2163	2309	2225	2251	2621	2947	3033	

A.II.9 - MATRIZ DE DADOS TOMO-R3

2897 2119	2583 2836	2223 2953	2304	1940	1521	1604	1690	1676	1871
2902 2144	2690 2836	2213 3005	2179	1955	1786	1636	1683	1699	1879
2978 2178	2691 2709	2245 3058	1960	1807	1881	1725	1645	1736	1836
2998 2043	2735 2693	2326 3052	1979	1756	1773	1786	1749	1741	1761
2897 2104	2863 2651	2174 2992	2140	1916	1643	1596	1896	1860	1827
3032 2025	2687 2564	1985 3009	2021	2076	1604	1532	1801	2084	1991
2996 2079	2845 2604	2030 3105	1985	2137	1786	1462	1620	2013	2116
3005 2231	2738 2523	2062 2943	1817	1866	1839	1707	1640	1923	2120
2957 2380	2817 2751	2011 2928	1761	1690	1727	1800	1767	1776	2111
2948 2331	2688 2727	1975 3034	1828	1634	1704	1804	1866	1725	2002
3024 2355	2672 2766	2077 2949	1778	1677	1743	1620	1961	1851	2068
2961 2249	2608 2880	1857 2931	1777	1629	1721	1616	1709	2186	2305
2950 2298	2459 2827	1921 2969	1809	1568	1751	1672	1668	2131	2353

A.II.10 - MATRIZ DE DADOS TOMO-S1

2957 1604	2706 1522	2302 1560	1706 1562	1544 1709	1558 2113	1542 2716	1630 3011	1753 2955	1702
2996 1537	2821 1404	2265 1540	1758 1601	1605 1746	1561 2098	1607 2652	1732 2949	1723 2997	1704
2938 1435	2849 1280	2312 1434	1854 1522	1630 1723	1615 2060	1709 2503	1661 2988	1818 2953	1627
2866 1376	2954 1345	2414 1393	2030 1531	1768 1755	1779 2031	1721 2450	1778 2981	1733 2980	1477
3034 1429	2805 1377	2457 1366	1988 1495	1822 1592	1909 2033	1759 2464	1714 2898	1549 2950	1519
3008 1400	2826 1303	2520 1357	2120 1469	2061 1678	1862 2094	1726 2452	1609 2931	1531 2943	1345
2944 1406	2762 1392	2570 1457	2058 1479	2098 1730	1905 2057	1745 2497	1507 3011	1381 2949	1383
2970 1258	2874 1412	2606 1424	2248 1543	2224 1694	2149 2006	1828 2365	1506 2878	1307 2919	1280
2991 1229	2939 1365	2588 1443	2287 1619	2139 1761	2109 1919	1911 2387	1526 2900	1261 3025	1192
3049 1171	2893 1310	2619 1461	2224 1582	2231 1685	2099 1934	1973 2289	1621 2883	1314 2899	1192
2997 1211	2899 1297	2430 1353	2269 1529	2252 1688	2088 1972	1812 2398	1619 2939	1329 2998	1239
2983 1312	2947 1377	2615 1318	2230 1468	2194 1746	2033 1942	1840 2367	1591 2930	1329 3023	1310
2895 1383	2911 1374	2613 1294	2167 1423	2178 1679	1986 2011	1822 2423	1688 3021	1492 3080	1368
2976 1422	2835 1341	2457 1257	2207 1346	1998 1594	2041 2021	1788 2446	1682 2884	1572 3081	1390
2893 1422	2997 1251	2497 1291	2096 1400	1783 1640	1859 2047	1814 2442	1749 2927	1656 3013	1544
3052 1362	2792 1310	2464 1363	1978 1399	1794 1626	1713 2028	1740 2425	1911 2962	1750 3052	1619
2910 1455	2804 1353	2490 1376	1851 1527	1656 1636	1625 2021	1742 2636	1758 3005	1826 2883	1679
2911 1622	2738 1364	2344 1470	1809 1498	1647 1652	1573 1954	1574 2626	1848 2943	1839 3080	1677
2953 1718	2702 1519	2296 1578	1818 1553	1585 1666	1575 2072	1532 2557	1674 2909	1812 3024	1700

A.II.11 - MATRIZ DE DATOS TOMO-S2

2817	2378	1834	1584	1476	1502	1557	1606	1834	1615
1520	1464	1534	1679	1945	2382	2865	3020	3046	
2810	2219	1774	1599	1518	1675	1759	1758	1692	1457
1396	1500	1567	1769	2092	2549	2865	2960	2972	
2481	2117	1681	1546	1628	1639	1705	1773	1514	1385
1422	1400	1626	1918	2314	2778	3021	2972	3043	
2336	1994	1691	1689	1746	1740	1576	1578	1397	1338
1403	1451	1734	2064	2497	2820	3041	3023	3066	
2270	1897	1863	1705	1626	1544	1539	1521	1421	1296
1326	1489	1865	2279	2623	2982	3012	2986	2975	
2254	2133	1961	1810	1631	1554	1362	1380	1289	1272
1373	1584	1973	2288	2773	2948	2892	2913	3043	
2229	2127	2044	1724	1669	1400	1230	1317	1381	1340
1411	1656	1939	2419	2889	2935	2945	3028	2981	
2274	2224	2072	1808	1600	1295	1263	1315	1339	1339
1515	1626	1895	2295	2879	2948	3026	3000	2977	
2368	2257	2015	1882	1528	1284	1149	1206	1247	1463
1555	1632	2028	2338	2855	2987	2877	2948	3080	
2280	2270	2083	1894	1566	1328	1207	1206	1270	1417
1521	1703	1942	2399	2950	3011	2944	3059	2976	
2250	2235	2057	1867	1638	1373	1210	1179	1228	1389
1535	1579	1942	2382	2868	3000	3019	2988	2982	
2206	2179	2138	1929	1738	1449	1358	1304	1260	1270
1410	1568	1734	2269	2734	2949	3041	2985	2967	
2299	2110	2124	1922	1729	1527	1396	1340	1286	1294
1225	1403	1710	2074	2592	2925	2963	3055	3038	
2409	2122	1961	1885	1840	1716	1548	1464	1487	1253
1217	1325	1555	1952	2313	2861	3098	2911	3117	
2719	2198	1837	1737	1764	1786	1705	1629	1476	1291
1188	1227	1498	1760	2240	2739	2952	3047	3000	
2815	2397	1859	1671	1672	1717	1790	1731	1620	1418
1277	1260	1438	1671	1924	2458	2883	3018	2960	
2834	2710	2065	1676	1521	1611	1763	1825	1791	1510
1365	1346	1395	1586	1795	2264	2720	3055	3052	
2904	2793	2251	1755	1590	1507	1586	1781	1872	1685
1536	1427	1306	1479	1606	2017	2541	2961	3034	
2957	2914	2547	1987	1623	1546	1427	1561	1632	1752
1733	1586	1506	1524	1571	1795	2269	2853	3058	

A.II.12 - MATRIZ DE DATOS TOMO-S3

3007 1639	2791 1560	2171 1486	1806 1578	1546 1727	1517 2120	1479 2636	1647 3083	1732 3044	1575
2879 1570	2846 1400	2276 1544	1818 1586	1658 1781	1599 2101	1589 2529	1737 2970	1770 3093	1681
3000 1412	2812 1278	2356 1403	1799 1559	1651 1737	1650 2164	1661 2553	1756 2891	1776 3009	1587
2955 1422	2820 1349	2369 1411	1966 1438	1711 1728	1673 2173	1746 2421	1736 2995	1775 2994	1541
2982 1446	2828 1321	2401 1352	2069 1469	1821 1798	1738 2128	1667 2557	1612 2940	1574 3077	1508
2930 1381	2961 1424	2507 1387	2126 1450	2079 1757	1860 2038	1656 2495	1661 2916	1405 3112	1461
2929 1378	2809 1417	2554 1331	2301 1507	2118 1596	2037 2051	1746 2410	1555 2879	1360 2957	1292
3035 1232	2932 1282	2581 1396	2318 1568	2142 1736	2083 2049	1777 2411	1595 3000	1285 2957	1235
2892 1161	2872 1364	2622 1395	2319 1619	2168 1671	2180 1919	1908 2411	1641 2875	1291 3073	1197
3083 1239	2832 1247	2613 1417	2327 1520	2315 1732	2098 1999	1981 2349	1579 2915	1307 2958	1211
3085 1188	2873 1341	2557 1357	2365 1535	2321 1749	2087 1896	1956 2402	1583 2794	1283 3075	1213
2973 1287	2857 1315	2568 1358	2236 1478	2146 1642	2060 1928	1820 2428	1571 2886	1365 2940	1315
2939 1335	2886 1318	2663 1288	2130 1395	2100 1644	1921 2024	1790 2383	1688 2895	1401 3072	1351
3034 1432	2853 1347	2479 1285	2044 1396	2045 1596	1877 2063	1725 2389	1652 2945	1552 3072	1408
2998 1415	2810 1331	2474 1294	2046 1376	1820 1672	1850 2050	1801 2445	1716 2922	1654 3052	1541
3044 1391	2788 1294	2385 1306	2029 1459	1741 1638	1748 2069	1821 2511	1764 2977	1710 3037	1622
2937 1406	2802 1327	2347 1378	1854 1499	1646 1689	1589 2022	1697 2588	1855 2907	1863 3035	1693
2920 1532	2738 1377	2242 1402	1793 1541	1557 1720	1623 2090	1671 2590	1804 2910	1737 2923	1702
2950 1735	2740 1542	2193 1527	1822 1530	1604 1636	1486 2085	1515 2666	1719 3052	1731 3026	1725

5589	5469	5000	3910	3138	2468	2104	1969	1870	1589
1525	1366	1348	1322	1164	1189	1122	1075	992	970
901	900	888	957	963	961	974	1024	1013	1042
1068	1025	974	1005	1054	1012	997	1026	961	1021
1006	958	1003	1108	1117	1145	1225	1231	1340	1409
1546	1662	1735	1970	2354	2695	3237	4001	4879	5616
5766									
5675	5651	5035	3883	3071	2559	2293	1973	1793	1707
1569	1448	1315	1235	1188	1119	1065	1092	977	978
932	924	880	941	1010	922	1045	955	1031	1009
1008	1057	952	994	1033	1007	1048	999	951	1000
987	998	1020	1071	1044	1095	1223	1269	1315	1484
1537	1738	1883	2044	2367	2796	3169	3930	5001	5522
5844									
5732	5374	4971	3754	2934	2593	2187	1967	1833	1669
1528	1324	1340	1231	1201	1102	1122	1064	981	986
1018	959	913	918	932	1040	1054	1054	1039	1061
1030	1078	1016	1089	1059	999	968	935	920	976
955	1012	986	1086	1136	1168	1170	1235	1376	1487
1578	1681	1830	2110	2341	2805	3385	4288	5094	5717
5889									
5874	5457	4970	3778	2889	2438	2206	2007	1850	1647
1517	1388	1339	1249	1186	1222	1111	1014	1042	1022
982	999	937	974	1011	1018	1027	1005	1057	983
1092	1043	1062	1011	1000	937	1009	935	957	914
950	1041	1057	1043	1074	1111	1175	1239	1375	1381
1557	1695	1763	2029	2278	2756	3199	4058	5096	5713
5747									
5687	5410	4874	3608	3102	2466	2214	1978	1817	1658
1532	1347	1348	1222	1199	1106	1007	1018	1057	1021
972	861	923	911	944	988	1026	1044	1007	992
1078	1078	1027	1055	1022	1036	1002	948	942	979
1011	991	1025	1101	1077	1158	1185	1329	1390	1431
1509	1673	1868	2067	2364	2670	3353	4182	5086	5637
5881									
5809	5409	4683	3611	2952	2455	2216	1905	1825	1576
1496	1330	1280	1205	1247	1158	1081	1039	1003	987
983	897	960	919	927	1038	1031	1016	1003	1031
990	1022	1060	1044	1019	954	1036	1022	930	949
985	1009	1011	1023	1164	1242	1225	1218	1382	1402
1593	1686	1873	2122	2402	2694	3426	4271	5136	5757
5897									
5571	5367	4705	3611	2983	2647	2155	1953	1747	1661
1514	1337	1304	1260	1180	1057	1126	986	1042	983
946	888	918	968	1006	995	983	1074	1053	1097
1073	1035	1024	1034	1008	993	970	933	924	1015
960	1003	1042	1070	1098	1178	1239	1255	1362	1414
1579	1701	1818	2087	2399	2738	3233	4192	5072	5714
5810									
5712	5417	4562	3621	2982	2543	2111	1972	1771	1574
1557	1406	1298	1296	1173	1110	1062	978	1072	955
987	917	911	916	1013	1042	1036	989	1017	1097
1081	1041	1051	1029	996	1006	972	997	870	951
955	932	1042	1134	1078	1120	1204	1285	1278	1532
1554	1791	1869	2141	2391	2778	3393	4288	5133	5791
5830									

A.II.14 - MATRIZ DE DADOS ÁGUA

29901 16247 30080	29954 16380	28392 16446	25430 16890	21164 17800	19407 18655	18117 20272	17385 22897	16894 26492	16481 29771
29969 16145 29989	29966 16333	28817 16494	24857 16990	21032 17486	19241 18785	18228 20291	17290 22936	16861 26763	16429 29741
29877 16357 30321	29704 16482	28407 16579	24741 17042	21378 17873	19262 18559	17984 20231	17303 23177	16765 27057	16388 29533
30147 16382 29711	29401 16325	28621 16579	25285 17020	21290 17861	19090 18468	18239 20155	16990 22948	16613 27033	16485 29762
29941 16379 30056	29691 16410	28596 16523	25753 16839	21413 17363	19468 18718	18199 20003	17544 22430	16723 26523	16333 29969
30139 16250 29852	29739 16279	29174 16310	26692 16831	21974 17423	19849 18555	18066 19975	17353 22219	16790 25796	16478 29778
30152 16787 30328	29913 16259	29389 16471	27277 16824	22588 17326	19845 18255	18476 19070	17310 21507	16779 25188	16487 29105
30135 16231 30128	29958 16496	29529 16457	28170 16598	23791 17411	20559 18082	18802 19246	17566 20810	17009 24031	16646 28463
30134 16428 29767	30059 16430	29886 16350	28461 16528	24486 17271	20958 17648	19086 18698	17901 20420	17243 23424	16776 27415
30230 16346 29900	30206 16274	30062 16480	29086 16511	25461 16882	21685 17578	19404 18536	18100 20057	17372 22388	16816 26525
30211 16333 30014	30079 16518	30059 16312	29159 16397	26629 16793	21828 17436	19685 18483	18156 19720	17375 21975	16803 25765
30012 16585 29539	30123 16447	30005 16001	29075 16643	26869 16813	22289 17281	19914 18264	18355 19698	17370 22066	16876 25270
30001 16396 29734	30197 16252	30071 16418	29123 16382	26968 16858	22333 17314	19787 18123	18534 19788	17579 22132	17007 25896

A.II.15 - MATRIZ DE DADOS TOMO-U1

32451	32441	31954	32550	32272	28756	20428	16126	12966	12616
12462	12843	12524	12477	12182	12370	12763	16368	21743	30354
31576	32088	32436							
32241	31977	32393	32047	31934	29424	20727	15981	12781	12635
12574	12300	12393	12460	12629	12628	12911	16381	21357	29873
31830	32102	32600							
31917	32382	32058	32127	31856	28736	20944	15966	12942	12394
12229	12581	12334	12502	12051	12437	13084	16297	21645	29790
31962	32226	32427							
32228	32024	32053	32256	31859	28330	21121	16296	13030	12618
12477	12262	12217	12253	12270	12373	13128	16334	21901	29212
31798	32144	32065							
31921	32339	31955	32013	31963	28473	22314	16620	13094	12477
12516	12429	12211	12387	12224	12172	13092	16331	21791	28373
31852	32263	32233							
32170	32407	32079	32174	31198	27868	22667	16753	13338	12218
12108	12096	12243	12273	12163	12405	13353	16718	22070	27619
31640	32109	32127							
32258	32250	32131	32172	31044	27642	22726	17107	13444	12358
12112	12029	12264	12158	12133	12373	13528	17107	22427	27600
31493	32254	32592							
31984	32408	32022	31914	30997	27693	23258	17606	13677	12150
12130	12067	11976	12111	11998	12295	13819	17192	22360	27140
30700	31858	32130							
32092	32283	31869	32319	30419	27276	23224	18229	14180	12232
11899	11680	11828	11779	11672	12108	13816	17465	22197	26745
30738	32204	32178							
32164	32262	31881	31812	30644	27015	23153	18768	14296	12229
11819	11513	11605	11569	11783	12476	14137	18250	22750	26482
30486	31856	32442							
31853	32403	32059	31938	30172	26853	23225	18663	14884	12401
11352	11426	11422	11429	11586	12544	14768	18346	22636	27003
29829	32270	32396							
32176	32429	32310	31866	29931	27194	23624	19190	15400	12623
11419	11177	11217	11246	11233	12714	15010	18388	22462	26486
29662	31870	32262							
32205	32135	32437	32031	29950	27196	23416	19382	15767	12842
11474	10722	11062	10865	11267	12693	15246	18472	22330	26283
29425	31882	31674							
32243	32109	32130	31754	29428	26968	23381	19472	15994	13306
11199	10776	10601	10598	11389	13118	15742	18597	22668	26417
29565	31465	32049							

32114	32100	32438	31201	29404	26948	23314	19520	16108	13475
11300	10374	10344	10389	11299	13340	15875	19114	22893	26471
29365	31265	31933							
32198	32202	32231	31193	29508	27121	23353	19675	16360	13911
11640	10245	10027	10268	11506	13558	15817	18953	22631	26260
29296	31465	32132							
32195	31982	31863	31653	29366	26866	23461	19709	16681	13807
11918	10160	9743	10218	11609	13614	16195	19040	22701	26379
29207	31325	32127							
32303	32128	32186	31425	29250	26523	23254	19697	16456	13698
11762	9977	9413	10150	11722	13902	16269	19116	22639	26238
29180	31403	32159							
32003	32565	32421	31656	29409	27027	23194	19471	16354	14158
12059	10175	9185	10211	11783	13876	16444	19264	22431	26492
28989	31472	31766							
32055	32137	32085	31614	29672	26992	22936	19803	16541	14007
11901	10128	9246	10072	11669	13740	16243	19400	22865	26103
29039	31221	31913							
31860	32203	32280	31673	28988	26553	23142	19649	16413	13916
12026	10069	9419	9987	11838	13785	16393	19628	22936	26526
29378	31291	31906							
32388	31918	31900	31797	29283	26616	23019	19483	16376	13445
11935	10310	9659	10144	11788	13612	16363	19326	23053	26858
29287	31671	31742							
32379	32277	32255	31510	29331	26826	23219	19351	16305	13599
11633	10364	10067	10200	11331	13489	16153	19355	23133	26655
29227	31064	32151							
32139	31993	32163	31240	29476	26577	22906	19275	15670	13369
11436	10417	10374	10262	11444	13595	16214	18957	22848	26479
29252	31640	32160							
32282	32508	31883	31437	29450	26382	22827	18969	15693	13167
11229	10856	10649	10531	11429	13471	16173	19362	23616	26960
29930	31795	32087							
32227	32009	32285	31925	29873	26469	22657	18793	15277	12646
11375	11073	11001	10867	11340	13041	15673	18981	23154	26997
29698	31693	32374							
32384	32355	32404	31744	29529	26659	22758	18615	14768	12436
11374	11195	11149	11054	11239	12696	15594	19042	23325	27268
29865	31786	32028							
32171	32165	32047	31927	29766	26590	22603	18036	14458	12426
11792	11328	11377	11312	11252	12534	15188	18992	23373	27220
30610	32060	32371							
32587	32050	32194	32076	30207	26384	22406	17518	13802	12205
11869	11722	11561	11629	11491	12298	15159	19036	23785	27449
30800	31774	32366							
32288	32329	32528	32405	30211	26617	22107	17270	13801	12177
12042	11762	11912	11696	11800	12357	14526	18789	23662	27415
31139	31568	32219							

32134	32168	32412	32035	30708	26361	21768	16858	13480	12173
11976	12034	12182	12010	11831	11980	14204	18415	23497	28079
30915	32325	32331							
32300	32298	31966	32265	30590	26377	21287	16147	12919	12212
12073	12112	12008	12119	12071	12270	14207	18524	23699	28871
31534	31815	32122							
32003	32227	32280	32102	30838	26497	21109	15694	12931	12422
12395	12192	12411	12004	12315	12337	14145	18015	23902	29020
31654	32088	32121							
32406	32385	32394	32293	31176	26853	20582	15563	12873	12401
12147	12471	12368	12242	12112	12266	13767	17811	23947	29633
31658	31943	32486							
32368	31957	32228	32128	31516	26144	20022	14904	12657	12262
12392	12344	12442	12321	12422	12431	13993	17747	24666	30030
32295	32344	31884							
32254	32268	32088	32132	31924	26393	19562	14753	12761	12190
12570	12472	12406	12542	12339	12581	13941	17863	24666	30900
32013	32127	32353							
32090	32324	32167	32369	31957	26837	19364	14606	12679	12335
12573	12491	12725	12543	12337	12305	14105	17469	24208	30755
31914	32101	31943							
32334	32356	32281	32054	31978	26831	19130	14569	12703	12324
12613	12717	12385	12308	12399	12675	14082	17704	24586	31291
32162	32365	32094							
32094	32580	32338	32067	31652	25636	18401	14140	12530	12294
12599	12342	12583	12433	12395	12640	14265	18125	25363	31309
32239	31913	32017							
32421	32256	32123	32124	31296	26012	18437	14314	12532	12291
12533	12537	12303	12463	12420	12653	14190	18268	24988	31189
31948	32473	32154							
32218	32140	32207	31815	31128	25621	18719	14292	12753	12392
12624	12628	12462	12457	12437	12766	14605	18215	24728	30771
32040	32405	32350							
32018	32683	32407	32043	30271	25304	18619	14110	12448	12303
12359	12246	12256	12371	12523	12728	14895	19293	25260	30672
31917	31840	32037							
31949	32121	32080	32220	29725	24882	18741	14350	12538	12239
12430	12182	12101	12318	12112	12725	15290	19903	25646	30642
31978	31864	32360							
32225	32327	32008	31500	29185	24965	19129	14526	12488	12256
12362	11984	12218	11993	12050	12978	15627	20494	25574	30050
31945	32246	31991							
32177	32264	31881	31434	28959	24752	19339	14658	12331	12098
12170	12125	12148	12038	12088	13211	15866	20859	25286	30147
32022	32300	32438							
32391	32266	32235	30810	28238	24079	19316	14792	12351	12012
11860	11761	12001	11814	12121	13403	16684	21415	25821	29991
31829	31970	32115							

32173	32227	32483	30744	27915	24140	19479	14967	12415	11799
11555	11708	11644	11616	12248	13905	17154	21703	25803	29744
31430	32011	32112							
32218	32055	32207	30702	28122	24051	19737	15605	12581	11687
11393	11596	11619	11433	12255	14288	17636	21914	25748	29342
31696	32280	32279							
32134	32024	32161	30790	27274	23955	19485	15911	12830	11297
11266	11168	11282	11486	12369	14872	18094	21983	26013	29416
31538	32116	32288							
32148	32302	31905	30207	27104	23362	19344	15748	12915	11464
10909	10957	10932	11535	12696	15086	18513	22651	26371	29487
31462	31941	32074							
32304	32271	31979	29977	26882	23500	19376	15916	13199	11353
10675	10774	10818	11429	12947	15442	18766	22600	26006	29157
31586	32069	32208							
32415	32406	31466	29854	26844	23080	19261	16337	13257	11317
10572	10303	10405	11239	13009	15616	19044	22617	26153	29631
31211	32064	32095							
32177	32304	31549	29494	26545	23026	19281	16060	13561	11468
10294	9955	10474	11514	13522	16231	19382	23080	26278	29251
31523	32297	32117							
32271	31969	31355	29171	26546	22427	19466	16031	13655	11491
10340	9964	10400	11835	13915	16543	19620	23487	26696	29493
31397	31824	32223							
32213	32323	31635	29061	26338	22996	19143	16303	13632	11610
9942	9592	10448	12059	13839	16431	19869	23147	26841	29288
31526	32305	32285							
32038	32138	31328	28734	26012	22976	19000	16421	13733	11479
9979	9418	10370	12022	13976	16436	19838	23512	26682	29597
31489	31812	32028							
31915	32186	31146	28843	25826	22259	19155	15977	13592	11466
9838	9309	10504	12295	14412	16969	20313	23757	26890	29655
31772	31873	32157							
32515	32142	31026	29076	25959	22322	18682	16006	13299	11429
9956	9335	10491	12146	14463	17221	20154	23948	27074	29429
31506	32309	32181							
32153	32376	30886	28590	25819	22117	18811	15810	13247	11408
9910	9624	10486	12295	14253	16997	20578	23847	27003	29642
31645	32123	32367							
31963	32075	30948	28584	25972	21939	18494	15681	12969	11277
10234	9853	10395	12318	14395	17267	20542	24195	27333	29728
31813	32046	32247							
32381	31660	31056	28430	25360	21590	18222	15398	12621	10870
10206	10124	10483	11985	14356	17426	20544	24403	27528	30001
31763	32087	32112							
32043	32171	30859	28820	25577	21704	18310	15028	12340	11099
10474	10258	10591	11859	13977	16964	20364	24175	27357	30080
31676	32033	31695							

32190	32082	31042	28575	25216	21447	17495	14625	12224	10991
10800	10781	11008	11895	14228	16830	20651	24576	27764	30455
31863	32470	31909							
32253	32140	31023	28636	25004	20897	17046	14019	11955	11183
11084	11101	11170	11804	13950	16987	21038	24911	28046	30900
32005	32096	32217							
32408	32067	31163	28271	25048	20802	16969	13790	11899	11221
11580	11233	11353	11723	13676	16701	20520	25082	28344	30814
31836	32175	32326							
32271	32561	31584	28551	25052	20597	16649	13497	11685	11612
11538	11249	11681	11754	13392	16655	20776	24772	28649	31272
32288	32086	32498							
32550	32210	31472	28596	24663	20163	15803	13246	12020	11738
11759	11810	11588	11864	13149	16322	20810	25587	28945	31338
31945	32322	32299							
32175	32296	31649	28729	24667	19736	15367	12802	11851	11957
12082	11857	11949	12027	13098	16318	21013	25513	29041	31852
32219	32298	32118							
32226	32203	31619	28848	24743	19236	14928	12767	12087	11928
12168	12021	12062	12082	12606	15442	21098	25688	29704	31949
32052	32173	32533							
32459	32213	32056	29172	24409	18726	14641	12596	12096	12184
12124	12249	12095	12239	12663	15548	20591	25644	29869	31795
32221	32521	32283							
32051	32217	32096	29458	23867	18163	14097	12604	12060	12222
12255	12393	12370	12374	12820	15209	20594	26299	30725	31907
32179	32044	32060							
32449	32150	32044	29822	23561	17845	13801	12442	12339	12428
12418	12559	12423	12378	12790	15309	20145	27047	30987	31961
31875	32198	32159							
32443	31954	32177	30319	23258	17391	13850	12551	12258	12322
12499	12308	12406	12424	12703	15282	19749	26995	31567	32021
32467	32129	32170							
32056	32441	32186	30563	23082	17096	13570	12697	12291	12744
12461	12570	12469	12499	12833	15262	19668	27547	31289	32127
32075	32181	32125							
32095	32037	32375	30565	22433	16825	13074	12540	12206	12400
12848	12607	12574	12623	12960	15624	19720	28428	31544	32426
32141	32013	32397							
32324	32432	32462	30511	22641	16973	13220	12695	12333	12422
12459	12554	12656	12394	12855	15473	19825	28660	31653	32161
32292	32322	32280							

A.II.16 - MATRIZ DE DADOS TOMO-U2

31946	32192	32032	32271	31418	24504	17721	13658	12124	11612
11794	11721	11506	11637	11579	11883	14480	18949	26443	31722
32112	32201	32030							
31986	31958	32325	32234	30916	24578	17933	13827	11934	11621
11558	11815	11644	11692	11460	11702	14283	18813	26054	31732
31832	31942	32164							
31861	32211	32294	31833	30412	24750	18215	13802	11845	11619
11557	11334	11407	11380	11539	12285	14617	19409	25858	31221
31973	32176	31838							
31956	32127	32193	31848	30209	25074	18303	13910	12124	11732
11666	11581	11118	11301	11551	12239	14582	19755	25443	30889
32168	32334	32134							
32110	32082	32049	31999	29901	25341	19488	14493	12022	11537
11280	11404	11355	11342	11527	12050	14490	19557	25021	30281
31846	32099	32153							
32343	32082	31852	31588	29587	25561	19485	14673	11986	11532
11265	11350	11287	11215	11363	12157	15013	19853	25114	30034
31680	32112	32206							
31918	32134	32032	31659	29207	25228	19955	14963	12068	11549
11234	11357	11111	11104	11307	12218	15437	20349	24964	29221
31885	32013	32131							
32187	32171	32071	31947	29056	25365	20555	16035	12354	11086
10984	11056	11018	10927	11180	12284	15232	20087	24642	29118
31374	32262	31998							
32175	31935	32229	31335	28966	25350	20949	16318	12822	11156
10695	10772	10894	10815	11114	12431	15888	20206	24548	28326
31498	31887	32140							
32259	32118	32059	31335	28825	25521	21048	16774	12730	11083
10560	10603	10494	10599	11127	13161	15929	20466	24571	28101
31215	32052	32220							
32108	32143	32337	30795	28384	25600	21139	17160	13378	11288
10418	10306	10449	10353	10964	13146	16495	20521	24407	28129
31252	32041	32253							
32032	32207	32162	31301	28581	25581	21391	17684	14069	11517
10261	10067	10277	10290	11135	13387	16384	20211	24190	27977
30483	32169	32185							
31980	32438	32182	30914	28347	25590	21752	17904	14323	11808
10140	9751	9651	10094	11374	13485	16581	20332	24060	27262
30298	31706	32367							
32351	32292	31987	30863	28489	25351	21632	17810	14490	11914
10232	9418	9675	9998	11251	13944	16934	20314	24337	27379
30849	32158	32453							

32213	32125	32453	30930	28319	25330	21929	18019	14735	12225
10151	9506	9092	9933	11482	14110	16996	20554	24105	27421
30059	31846	32260							
32004	31918	32014	30588	28195	25569	22044	18478	15130	12517
10218	9132	9156	9902	11630	13842	16756	20555	24134	27273
29714	31698	32126							
31938	32099	32255	30530	28413	25620	21805	18450	15135	12499
10374	8903	8899	9873	11748	14194	17148	20392	23960	27224
30127	31662	32100							
32362	31942	32006	30800	28128	25499	21548	18249	14879	12538
10439	8905	8506	9833	11879	14221	17122	20816	24085	27110
29884	31771	31641							
32160	32244	32279	30712	28618	25800	21840	18289	14874	12561
10499	9228	8573	9770	11712	13992	16822	20396	23903	27162
29669	31964	31986							
31953	32236	32261	30858	28321	25618	21757	18561	15246	12431
10531	8922	8859	9704	11637	14062	16755	20232	23942	26937
29748	31636	32443							
32183	32156	32182	30964	28303	25289	21917	18153	14931	12357
10543	9222	8736	9688	11770	14134	16859	20363	24440	27312
29985	31525	32280							
32487	32235	31849	30899	28172	25191	21773	18442	14735	12123
10563	9409	9490	9713	11414	13814	16787	20333	23938	27293
30147	31613	32007							
32262	32063	32084	31200	28375	25792	21978	18384	14974	12221
10459	9708	9377	9688	11078	13362	16483	19896	24071	26916
29855	31683	31976							
32062	32167	32240	31088	28957	25377	21922	18232	14754	12013
10401	9996	9735	9984	10941	13179	16283	20155	24051	27035
30042	31793	32046							
31993	32188	32316	31265	28434	25529	21721	17957	14173	11765
10494	10141	10024	10102	11067	13028	16169	20132	23862	27730
30316	31813	32231							
32139	32169	32071	31561	29220	26086	22064	17903	13674	11552
10711	10270	10468	10364	10956	12729	15812	19974	23818	27369
30137	31644	32073							
32206	32156	31902	31608	29154	25964	21759	17610	13533	11530
10913	10557	10887	10396	10953	12167	15436	19551	23629	27430
30686	31832	32350							
32653	32068	32412	31498	29451	25823	21621	16815	13222	11218
10935	10761	10612	10865	11026	12323	15403	19404	23960	27740
31028	31621	32258							
32148	32321	32295	32278	29620	25650	21422	16465	13139	11323
11070	10848	10759	11042	11120	12030	15047	19419	23978	28473
31251	31960	31979							
32013	32425	32089	32006	29880	26120	21453	16495	12577	11437
11023	11080	11114	10946	11184	11894	14165	18935	23623	28361
31184	32177	32173							

31964	32298	31927	32215	30154	26164	21148	16027	12526	11588
11367	11141	11404	11201	11389	11820	13806	18302	24347	28594
31386	32077	32196							
32285	32216	32243	32227	30549	25622	20686	15278	12399	11776
11323	11305	11607	11446	11308	11992	13837	18342	23926	29223
31983	32398	31927							
32065	32232	32212	31885	31188	26409	20265	15386	12246	11568
11497	11508	11532	11627	11829	12096	13426	17900	23835	29361
31704	32373	32139							
32142	32222	32050	32070	31726	26348	20221	15036	12266	11633
11372	11675	11537	11782	11795	11851	13470	17224	23891	29834
31572	32099	32132							
32141	32197	32024	32523	31905	26510	19905	14903	12088	11768
11805	11722	11809	11615	11762	12004	13412	17298	24157	30187
32132	32169	32479							
32273	32400	32175	32101	31791	26284	19534	14588	12158	11629
11765	11624	11654	11618	11818	12085	13612	17425	23869	30907
31779	32289	32129							
31913	31883	31980	32326	32052	27091	19297	14630	12165	11791
11745	11708	11823	11781	11780	12034	13615	17208	23639	30428
32111	32130	32115							
32337	32098	32182	32179	31449	27094	19111	15037	12121	11649
11601	11816	11720	11799	11852	11994	13502	16960	23347	31043
31726	32192	32139							
32124	32384	32098	32352	31396	26640	18998	14513	12203	11769
11694	11497	11711	11813	11879	12313	13868	17741	23849	30793
31908	32383	32237							
32073	32034	32255	32126	31178	26322	19343	14687	12071	11912
11515	11683	11774	11725	11963	12035	13667	18040	23572	30529
32117	32107	32355							
32420	32052	32256	31792	31238	26546	19662	14755	12037	11535
11601	11599	11540	11806	11806	12111	13766	17774	23511	30114
31896	32108	32144							
32051	31876	32553	32256	30643	26424	19966	14746	12313	11393
11256	11641	11595	11712	11907	12179	13859	18539	23917	29791
31987	32130	32162							
32138	31928	32144	31781	30119	25776	20151	14732	11935	11430
11561	11461	11443	11526	11669	12114	14418	19360	24262	29647
31925	31988	32202							
32356	32401	32269	31939	30028	25848	20547	15078	12051	11276
11263	11094	11457	11394	11639	12190	14613	19188	24111	28979
31680	32126	32072							
32377	31885	32275	31917	30004	25469	20623	15605	12261	11223
11176	11174	11140	11377	11471	12499	15026	19692	24316	28474
31704	32060	32127							
32240	32391	31714	31753	28760	25334	20651	15682	12220	11121
10934	10876	10871	11234	11518	12516	15498	20218	24772	28703
31484	32153	32210							

31983	32187	31868	31195	28878	25514	20568	16062	12531	11047
10953	10699	11012	10888	11280	12899	16092	20279	24589	28414
31198	32082	32117							
32089	32287	31847	30916	28637	25415	21012	16625	12991	10884
10515	10719	10575	10791	11355	13236	16553	20438	24639	28344
30973	31834	32099							
32194	32252	32063	30943	28574	24984	20880	16552	13018	11063
10306	10212	10557	10478	11520	13449	16881	20326	24647	27926
30765	32085	32212							
32135	32177	31891	30930	28232	24633	20794	16726	13100	11233
10077	10184	10191	10436	11560	14133	17130	20937	24888	28238
31185	32186	32464							
32320	32079	31872	30756	28108	24942	21024	16930	13446	11193
9948	9803	9716	10288	11561	14250	17347	21158	24922	28112
30806	31704	31891							
32224	32030	32053	30681	27975	24840	20850	17096	13965	11514
9728	9547	9557	10278	11917	14112	17602	21313	24796	27919
30445	32098	32246							
32374	31918	31800	30318	27837	24387	20819	17135	13883	11398
9884	9390	9548	10483	12251	14796	17722	21311	25012	28160
30633	31998	32251							
32410	32124	31456	30010	27744	24336	20757	17137	14046	11471
9836	8813	9412	10681	12387	15103	18003	21660	24964	28168
30830	31902	32024							
32143	31754	31657	30487	27554	24359	20415	17121	14072	11597
9839	8827	9065	10488	12580	14947	18095	21443	24870	27958
30523	32080	32428							
32237	32129	31748	29698	27200	24444	20524	17386	14200	11663
9771	8698	9065	10501	12398	15109	18145	21518	24913	27979
30639	32111	31860							
32203	32002	31771	29923	27400	23953	20178	16671	13688	11617
9795	8784	9110	10835	12786	15420	18202	21930	25412	28243
31228	32036	32260							
32232	32157	31795	29680	26755	23882	20443	16602	13762	11432
9940	8734	9400	10359	12731	15343	18276	22014	25448	28262
30933	31868	31914							
32738	32483	31985	29815	27313	24166	20125	16845	13482	11495
9623	8964	9075	10602	12580	15299	18244	22150	25299	28365
31079	32128	32086							
32328	32059	31847	29991	27205	24161	19808	16559	13435	11146
9866	9413	9406	10386	12503	15217	18328	22025	25506	28715
30996	32110	32195							
31603	31945	31654	29820	27109	23770	19696	16187	13271	10965
9725	9778	9605	10708	12500	15304	18705	22270	25903	29101
31143	31960	32063							
32212	31944	31499	29845	27281	23778	19668	15954	12968	10979
10065	9938	9878	10462	12324	14896	18305	22433	25867	28832
31572	32066	32126							

32343	32119	31825	30056	27312	23762	19673	15645	12373	10706
10355	10255	10248	10621	11982	14874	18564	22448	26094	29470
31188	31999	32456							
32540	31726	31865	30095	26966	23251	19131	15035	12073	10859
10397	10447	10343	10647	12055	14737	18446	22558	26248	29429
31530	32178	31886							
32404	32058	31528	30424	27347	23265	18731	14552	12041	10885
10770	10556	10470	10864	11583	14200	18547	22663	26323	29657
31422	32009	32089							
31825	32247	31985	30693	27281	23395	18418	14298	11739	11055
10763	11003	10782	11010	11663	13883	17938	22667	26725	30070
31697	32143	32109							
32105	32290	32387	30917	27000	22828	17892	13748	11769	11115
10923	10970	11160	11142	11415	13743	17827	22765	27032	30572
31924	32414	32135							
32106	32362	32247	30892	26859	22320	17138	13212	11527	11277
11173	11075	11319	11375	11669	13566	17756	23138	27631	31030
31756	31994	32247							
32275	32475	32389	31272	27452	22244	16888	13132	11616	11371
11262	11289	11517	11346	11625	13285	17237	22643	27698	30852
32093	32373	32362							
32566	31792	32563	31902	27654	22060	16540	12899	11621	11326
11248	11391	11381	11439	11983	13175	17006	22928	28155	31236
32220	32221	32257							
32079	31875	32212	31507	27241	21042	15817	12633	11785	11303
11247	11427	11416	11700	11844	13057	17012	23082	28906	31775
32067	32111	32417							
32103	32196	31775	31944	27504	21094	15686	12364	11626	11753
11516	11542	11626	11759	11922	13087	16735	23218	29478	31757
31972	32231	32235							
31926	32121	31925	32179	27972	20686	15500	12303	11728	11757
11453	11759	11659	11599	11974	13106	16587	23143	29728	31651
32267	32196	31985							
32168	32137	32072	32115	28165	20201	15193	12442	11884	11517
11578	11624	11707	11810	12025	12873	16790	23140	30320	32090
32074	32352	32052							
32244	32312	32502	31764	27473	19488	15244	12035	11580	11704
11329	11527	11717	11729	11933	13212	17171	23533	31030	32310
32194	31905	32251							
32235	32304	32155	31748	27735	19658	15024	12057	11603	11538
11579	11463	11657	11740	12022	13327	16850	23512	30644	32248
32237	32081	32054							

A.II.17 - MATRIZ DE DATOS TOMO-U3

32150	31907	32293	32112	28864	20784	15544	11903	11333	11190
11321	11475	11293	11276	11414	12381	15784	21092	29576	31547
31501	31740	32150							
32042	32185	32011	31692	28876	21134	15673	12271	11372	11190
11295	11231	11430	11425	11475	12238	15944	21009	29093	31706
31987	31921	32042							
31944	32246	31959	31731	28652	21263	15606	12112	11223	11155
11204	11100	11325	11322	11204	12432	16223	21463	28316	31285
31994	32004	31944							
32108	32355	31977	31664	28141	21708	15768	12355	11233	11269
11075	10996	11146	11266	11254	12553	16040	22082	27886	31003
31874	32138	32108							
32167	32499	32123	31521	28330	22339	16727	12578	11099	11060
11063	11030	11243	11243	11328	12682	16195	21793	27526	31684
31977	31910	32167							
32446	32252	32320	30922	27951	23016	17097	12910	11333	11202
11065	11011	11052	11139	11265	12871	16917	22298	27400	31436
32363	32285	32446							
32433	32016	31982	30943	27613	23106	17677	12900	11205	10967
10998	11037	10938	11259	11593	13365	17699	22612	27072	31095
32358	32799	32433							
31915	32168	31998	30929	27110	23185	18051	13311	11290	10800
10755	10634	10700	10936	11209	13366	17048	22135	26718	30041
31826	31828	31915							
32207	31885	32363	30628	26977	23449	18308	14114	11331	10468
10363	10388	10544	10637	11501	13419	17039	22018	26236	29651
32017	32318	32207							
32401	32375	32100	30047	27158	22950	18609	14669	11522	10446
10502	10239	10355	10560	11749	13944	17976	22292	26544	29482
31802	32276	32401							
32280	32137	31818	29777	27051	23217	18931	14942	11765	10334
10140	10046	9926	10345	11528	14257	17965	22406	26453	29262
31745	32424	32280							
32472	32073	31869	29911	27344	23547	19203	15358	12494	10461
10040	10004	10239	10266	11730	14315	18051	22583	26307	29342
31875	32394	32472							
32137	32218	31910	29836	27024	23503	19022	15766	12540	10368
9739	9620	9647	10177	12029	14741	17839	22336	25447	28686
31483	32232	32137							
32134	32181	31535	29640	26602	23064	19318	16135	12690	10217
9415	9257	9434	10291	12230	14970	18073	22488	25768	28749
31472	31920	32134							

32329	32284	31701	29873	26701	23444	19659	16019	13053	10731
9420	8971	9208	10407	12334	14995	18500	21992	25956	28687
31406	32295	32329							
32232	32185	31545	29951	26689	23669	19781	16325	13291	11031
9322	8732	8864	10390	12285	14895	18089	21930	25167	28623
30800	31760	32232							
32165	32462	31610	29631	27340	23863	19971	16299	13480	11277
9268	8579	8986	10325	12432	15269	18683	22127	25898	28489
31382	32205	32165							
32254	32283	31782	29438	26956	23599	19901	16595	13649	11229
9533	8264	8915	10712	12715	15141	18433	22275	25786	28531
30953	32048	32254							
32128	32017	31678	29595	26934	23733	19992	16567	13664	11367
9691	8312	8737	10345	12185	15102	18197	21614	25273	28327
30602	31635	32128							
32094	32227	31652	30049	26969	24003	19893	16619	13630	11270
9567	8506	8647	10285	12293	15044	18067	21949	25351	28362
31105	32461	32094							
32319	32083	31620	29742	26770	23688	19897	16430	13550	11319
9449	8881	8859	10149	12188	15113	18154	21757	25282	28442
30876	32333	32319							
32615	32496	31513	29937	27534	23735	19723	16525	13392	11020
9472	9042	9024	10139	12037	14769	17981	21982	25754	28419
30968	32544	32615							
32020	32120	31870	29811	27668	24439	19760	16233	13282	11109
9679	9086	9171	9738	11732	14425	17469	21210	25271	27919
30471	31706	32020							
32027	32388	31987	30258	27418	23687	19726	16135	12895	11040
9745	9581	9603	9949	11527	14126	17517	21685	25076	28361
30839	31766	32027							
31949	31842	31910	30029	27289	23942	19518	16004	12825	10766
10076	9764	9859	9859	11330	13750	17497	21138	25320	28351
31105	31942	31949							
32199	32166	32053	30898	27667	24357	19698	16172	12951	10679
10195	9942	10082	10338	11034	13589	17039	21290	25233	28702
31192	32401	32199							
32009	32097	32119	30701	27950	24593	19386	15584	12572	10718
10233	10180	10316	10357	10808	12807	16667	20774	25073	28374
30943	31441	32009							
32063	32203	32021	31205	27838	24230	19121	15098	12129	10899
10423	10444	10440	10505	10954	12594	16360	20962	24969	28636
31041	31861	32063							
32251	32269	32217	31495	27920	24205	18926	14964	11880	10924
10790	10546	10861	10798	11016	12271	16033	21068	25113	28991
31303	32143	32251							
31892	32403	32145	31794	28581	24365	19388	14635	11727	11191
10945	10613	10792	10879	11150	11907	15119	20478	25255	29194
31603	32146	31892							

32116	32111	32218	32371	29095	24381	19023	14257	11670	11303
10983	10913	11139	11078	11157	11663	14901	20135	25552	29667
31910	32500	32116							
31923	32293	32114	32237	28965	24008	18471	13930	11554	11370
10998	11035	11224	11167	11094	11857	14706	20001	25624	30356
32127	32049	31923							
32232	31948	31971	32224	29895	24511	18581	13847	11672	11089
11272	11202	11279	11161	11242	11695	14320	19252	25299	30150
31841	31997	32232							
32039	31986	31999	32112	30632	24269	18371	13680	11596	11198
11350	11340	11164	11461	11135	11310	13986	18336	25028	30304
31641	31845	32039							
32350	32037	32108	31809	30944	23893	17888	13526	11657	11327
11387	11414	11515	11328	11373	11951	14312	18591	25552	31243
32126	32539	32350							
32126	32020	32174	32422	31658	23886	17901	13453	11698	11358
11336	11284	11479	11386	11576	11917	14105	18033	25608	31221
31888	32294	32126							
32137	32386	32337	32191	31857	24574	18047	13584	11864	11401
11402	11349	11508	11330	11534	11938	14130	17779	25794	31344
32047	32402	32137							
31979	32238	32572	32213	31316	24856	18086	13584	11573	11324
11551	11328	11371	11427	11200	11709	13859	17749	25349	31405
31946	32166	31979							
32381	32042	32306	32056	31163	24799	17901	13491	11687	11193
11373	11375	11345	11461	11522	11868	14210	18379	25548	31373
31986	32085	32381							
32222	32249	32089	31849	30819	24739	18012	13477	11670	11243
11502	11256	11132	11190	11278	11902	14014	18457	24733	31035
32223	31917	32222							
32326	32133	32188	32320	30899	25255	18558	13975	11674	11219
11303	11152	11387	11435	11431	11843	14038	18445	24590	30890
32241	32213	32326							
32124	32347	32139	32221	30252	24688	18661	13990	11406	11233
11036	11114	10988	11019	11380	11973	14276	18899	24438	29811
31803	32280	32124							
32248	31843	31898	32129	29433	24554	19134	14028	11444	11282
11269	11348	11312	11247	11501	11991	14876	19636	25103	29624
31762	32107	32248							
32212	32337	32186	31598	29419	25073	19952	14518	11929	10952
11249	10965	11199	10974	11030	12049	14900	19701	24556	29449
31953	32298	32212							
32261	32435	32087	31723	29120	24996	20180	15320	12011	10662
10835	10909	10875	10961	11255	12298	15247	19915	24923	29047
32154	32630	32261							
31975	32143	32208	31357	28623	24759	19914	15315	12090	10729
10742	10733	10544	10838	11193	12610	15742	20351	24605	29160
31861	32345	31975							

32171	32106	31787	30711	28225	24698	20149	15693	12057	10641
10378	10405	10456	10376	11006	12616	16077	20340	24773	28401
31213	31932	32171							
32076	32001	32192	31008	28129	24807	20609	16324	12601	10807
10104	10274	10224	10431	10886	12965	16231	20320	24438	28037
31161	32058	32076							
32107	31849	32015	30941	28020	24671	20207	16264	12886	10726
9981	9945	10016	10109	10917	13224	16317	20283	24437	28191
30652	31572	32107							
32069	32579	31804	30442	27841	24776	20375	16697	13307	10678
9663	9632	9644	10016	11223	13724	16889	21114	24824	28028
30671	31791	32069							
32482	32529	31786	30613	28097	24604	20773	16948	13525	11079
9768	9416	9610	10097	11427	13757	17082	20950	24834	28098
30877	32363	32482							
32221	31755	32230	30351	28183	24724	20784	16726	13885	11259
9555	9199	9329	9943	11411	14163	16656	20621	24454	27619
30751	31885	32221							
32130	32241	32031	30271	27844	24385	20708	17055	13964	11367
9578	8970	9096	9863	11711	14380	17532	20906	25045	28060
30601	32028	32130							
32488	32363	31789	30003	27436	24488	20706	17282	13879	11474
9647	8659	8875	10007	11892	14429	17418	20958	24799	28129
30593	31842	32488							
32192	32141	31894	30059	27359	24410	20745	17377	14055	11725
9822	8495	8635	9958	11795	14234	17619	21072	24644	27891
30389	31737	32192							
32400	32217	31694	30343	28036	24494	20785	17461	13973	11714
9758	8339	8631	10039	11970	14502	17650	21294	24826	27887
31018	32086	32400							
32281	32094	31701	30167	27562	24286	20645	16829	14092	11617
9915	8331	8530	10001	11947	14437	17664	21213	24893	28098
30487	31905	32281							
31817	31984	31859	30227	27486	23970	20282	16971	13749	11625
9648	8573	8458	9989	11943	14230	17345	20933	24456	27470
30771	31668	31817							
31934	31924	31870	30263	27730	24575	20455	16826	13717	11394
9743	8945	8695	9849	11675	14424	17139	20958	24733	28011
30246	31852	31934							
32086	32186	31908	30484	27493	24062	20357	16900	13737	11341
9761	9015	8923	9672	11566	14110	17506	21006	24780	28004
30796	31983	32086							
31924	32313	31939	30633	27357	24249	20237	16651	13294	11190
9884	9448	9057	9915	11317	14119	17493	21210	24793	28378
30938	32124	31924							
32176	32401	31789	30378	27459	24456	20395	16562	13257	11165
10035	9545	9616	9798	11308	13708	17198	21088	25409	28208
31086	31826	32176							

32501	32428	31929	30525	27622	24441	20194	16124	12964	11011
10130	9812	9922	10099	11005	13807	17418	21145	25696	29162
31518	32413	32501							
32293	31820	31881	30830	27992	24286	19687	15555	12390	10856
10418	10180	10092	10053	10949	13534	17173	21798	25583	29213
31657	32557	32293							
32190	32035	32288	30784	27843	24329	19764	15231	12148	10707
10578	10301	10356	10099	10773	12955	16891	21270	25537	28745
31337	31971	32190							
32145	32194	32235	31128	27994	24226	19518	15484	12125	10785
10629	10457	10521	10439	10862	12470	16169	21229	25560	29241
31485	31795	32145							
32132	32144	31925	31225	28159	24105	19264	14600	11817	10860
10750	10694	10729	10643	10766	12191	16140	20887	25618	29639
31134	32016	32132							
31918	32026	32211	31688	28278	23958	18647	14079	11675	11047
10855	10813	10902	10638	10884	12260	15725	21134	25873	30299
31652	31896	31918							
32328	32200	32021	32070	28746	23671	18167	13777	11940	11233
11033	11019	11001	10985	10884	11685	15245	20885	26091	30093
31811	32210	32328							
31895	32486	32356	31999	28858	23684	17923	13358	11559	11243
11294	11215	11102	11089	11144	11869	14768	20769	26177	30396
32050	31761	31895							
32284	32086	32020	32426	29124	23329	17279	13179	11599	11263
11121	11229	11311	11305	10971	11809	15031	20441	26912	30998
31872	32044	32284							
32286	32211	32136	32152	29760	22618	16935	13294	11547	11317
11507	11378	11433	11286	11237	11865	15208	20360	27635	31663
32369	32183	32286							
32466	32382	32247	32001	30378	22789	17079	13171	11652	11300
11558	11567	11500	10929	11179	11823	14757	19903	27746	31487
32150	32149	32466							
32039	32265	31836	31905	30573	22206	17006	12921	11573	11584
11470	11475	11312	11522	11271	11897	14919	19655	28222	31615
32260	31994	32039							
32229	32018	32514	32133	30556	22056	16573	12770	11613	11441
11467	11241	11424	11408	11424	11948	15331	20263	29253	31791
32329	32469	32229							
32272	32463	32054	31889	30441	22419	17067	12672	11547	11442
11519	11467	11457	11366	11513	12048	14926	20281	28656	31921
32675	32911	32272							

A.II.18 - MATRIZ DE DATOS TOMO-U4

32179	31946	32342	32171	28926	20835	15587	11940	11372	11231
11366	11525	11345	11332	11474	12450	15876	21221	29766	31760
31723	31974	32396							
32070	32217	32046	31730	28914	21164	15697	12291	11392	11211
11318	11255	11455	11451	11503	12269	15986	21066	29175	31799
32084	32022	32146							
31971	32287	32012	31797	28723	21324	15657	12157	11269	11205
11259	11159	11390	11391	11277	12518	16342	21629	28546	31551
32279	32302	32254							
32135	32392	32025	31721	28201	21762	15812	12394	11272	11312
11121	11045	11199	11324	11315	12625	16138	22223	28073	31221
32109	32385	32366							
32193	32526	32150	31548	28355	22359	16742	12590	11110	11071
11074	11041	11254	11255	11340	12695	16212	21816	27556	31719
32013	31946	32204							
32471	32262	32314	30902	27919	22979	17061	12877	11299	11163
11021	10962	10998	11079	11199	12789	16801	22134	27186	31175
32079	31986	32130							
32457	32007	31940	30871	27521	23005	17582	12818	11122	10875
10894	10921	10812	11118	11436	13170	17423	22236	26594	30514
31720	32119	31727							
31938	32199	32037	30975	27157	23231	18091	13344	11321	10832
10790	10671	10740	10980	11257	13426	17129	22245	26858	30206
32008	32018	32114							
32229	31914	32400	30670	27020	23492	18346	14146	11360	10497
10394	10421	10580	10676	11546	13474	17113	22118	26362	29800
32185	32495	32390							
32423	32382	32093	30028	27129	22915	18573	14634	11490	10412
10463	10197	10308	10507	11685	13862	17863	22142	26353	29257
31546	32002	32112							
32301	32160	31843	29802	27076	23240	18951	14959	11779	10347
10154	10060	9941	10361	11547	14281	17996	22446	26502	29318
31808	32491	32349							
32492	32068	31839	29860	27276	23470	19126	15285	12425	10395
9969	9925	10151	10169	11611	14158	17839	22300	25957	28929
31402	31888	31940							
32156	32237	31929	29855	27041	23518	19035	15777	12549	10376
9746	9627	9654	10185	12038	14753	17853	22354	25468	28710
31509	32259	32165							
32152	32201	31556	29661	26623	23083	19335	16151	12703	10228
9426	9268	9446	10305	12247	14991	18100	22522	25809	28796
31525	31976	32192							

32346	32289	31694	29855	26675	23413	19625	15986	13021	10701
9390	8939	9172	10362	12276	14919	18399	21864	25795	28498
31188	32058	32080							
32248	32213	31585	30000	26743	23726	19837	16377	13339	11075
9363	8774	8910	10447	12357	14988	18209	22084	25353	28846
31052	32032	32520							
32180	32462	31595	29602	27301	23817	19923	16252	13435	11234
9228	8538	8939	10266	12355	15167	18549	21957	25687	28243
31096	31896	31841							
32268	32290	31781	29431	26943	23582	19882	16576	13630	11211
9515	8247	8894	10685	12680	15095	18373	22197	25690	28418
30823	31906	32103							
32141	32038	31706	29628	26971	23771	20029	16601	13696	11396
9718	8337	8766	10381	12230	15162	18273	21709	25390	28465
30758	31804	32307							
32106	32228	31642	30028	26941	23970	19858	16584	13597	11238
9537	8476	8614	10242	12237	14970	17971	21824	25198	28181
30895	32230	31854							
32331	32089	31620	29737	26761	23676	19883	16416	13536	11305
9436	8867	8844	10130	12162	15079	18109	21699	25211	28356
30778	32224	32205							
32626	32488	31488	29896	27481	23676	19663	16465	13336	10968
9422	8989	8966	10068	11946	14649	17825	21778	25501	28124
30629	32169	32221							
32030	32143	31905	29856	27721	24496	19814	16284	13329	11153
9721	9129	9218	9792	11802	14517	17587	21362	25462	28141
30726	31984	32314							
32036	32400	32003	30276	27437	23706	19744	16152	12910	11054
9758	9595	9618	9966	11547	14152	17551	21730	25130	28425
30912	31845	32110							
31957	31856	31931	30055	27318	23973	19547	16031	12850	10789
10100	9789	9886	9888	11366	13796	17559	21218	25420	28469
31241	32088	32102							
32206	32169	32052	30893	27659	24346	19687	16161	12941	10669
10184	9930	10069	10323	11016	13566	17007	21247	25179	28637
31117	32319	32113							
32015	32118	32155	30750	28008	24656	19445	15639	12622	10766
10284	10235	10377	10423	10882	12900	16796	20945	25291	28634
31241	31758	32347							
32068	32224	32057	31255	27895	24292	19179	15151	12177	10948
10475	10501	10502	10572	11029	12686	16487	21135	25187	28899
31341	32184	32403							
32255	32281	32236	31521	27950	24236	18955	14990	11904	10948
10817	10574	10893	10832	11053	12315	16094	21153	25220	29122
31451	32302	32418							
31895	32417	32168	31827	28619	24405	19426	14669	11758	11224
10980	10651	10834	10924	11200	11964	15196	20588	25398	29369
31802	32358	32112							

32119	32112	32217	32368	29091	24376	19018	14253	11666	11298
10978	10907	11133	11071	11149	11654	14889	20117	25528	29637
31876	32464	32079							
31925	32300	32127	32256	28987	24031	18492	13948	11572	11389
11019	11058	11249	11194	11123	11890	14749	20063	25708	30461
32244	32171	32051							
32233	31952	31979	32236	29909	24525	18594	13858	11683	11101
11285	11216	11295	11178	11260	11715	14346	19289	25350	30215
31913	32073	32312							
32039	32003	32034	32164	30698	24335	18431	13732	11647	11253
11412	11408	11237	11542	11220	11402	14108	18505	25272	30616
31984	32207	32421							
32349	32030	32096	31791	30921	23871	17869	13509	11640	11309
11367	11392	11490	11302	11345	11919	14271	18534	25469	31136
32010	32416	32222							
32124	32020	32175	32425	31663	23891	17906	13457	11702	11363
11341	11290	11486	11393	11584	11926	14116	18048	25630	31249
31919	32327	32160							
32134	32379	32325	32175	31837	24555	18031	13570	11850	11386
11386	11331	11488	11309	11511	11912	14098	17736	25727	31259
31955	32305	32036							
31975	32242	32584	32232	31342	24883	18110	13606	11594	11348
11578	11357	11403	11462	11237	11750	13911	17820	25456	31545
32096	32325	32144							
32376	32032	32291	32036	31138	24775	17881	13474	11670	11175
11353	11353	11322	11435	11494	11838	14171	18326	25470	31271
31877	31971	32260							
32216	32249	32094	31860	30835	24756	18027	13491	11684	11259
11520	11275	11153	11213	11303	11931	14050	18507	24804	31130
32327	32025	32336							
32320	32116	32160	32281	30852	25208	18517	13940	11641	11183
11263	11109	11340	11384	11376	11782	13961	18337	24438	30688
32020	31981	32083							
32117	32352	32155	32249	30290	24728	18698	14023	11437	11268
11074	11157	11034	11069	11436	12036	14357	19013	24594	30012
32029	32521	32376							
32240	31835	31889	32120	29425	24547	19128	14024	11441	11279
11266	11344	11308	11243	11497	11987	14870	19628	25093	29612
31749	32093	32234							
32203	32322	32165	31572	29389	25043	19925	14496	11909	10931
11226	10940	11172	10945	10999	12013	14853	19635	24469	29340
31829	32166	32075							
32251	32414	32055	31681	29072	24946	20133	15279	11975	10627
10795	10866	10828	10910	11199	12232	15160	19795	24764	28852
31927	32389	32012							
31964	32127	32186	31330	28594	24729	19887	15292	12070	10709
10720	10709	10519	10810	11163	12574	15694	20285	24521	29055
31741	32217	31843							

32159	32104	31795	30729	28250	24728	20180	15722	12083	10668
10407	10438	10492	10415	11051	12672	16153	20442	24905	28561
31399	32133	32383							
32063	32000	32203	31030	28159	24842	20646	16359	12633	10838
10137	10311	10265	10476	10937	13031	16319	20437	24588	28219
31375	32290	32319							
32093	31849	32028	30967	28055	24713	20250	16305	12924	10762
10019	9987	10063	10160	10977	13302	16420	20420	24612	28404
30897	31837	32390							
32055	32567	31795	30436	27837	24775	20376	16699	13310	10681
9667	9636	9649	10022	11231	13734	16903	21133	24848	28058
30706	31830	32111							
32466	32506	31756	30577	28057	24563	20734	16912	13493	11050
9740	9387	9578	10061	11384	13702	17009	20855	24716	27958
30715	32186	32296							
32205	31741	32218	30342	28176	24720	20782	16726	13886	11260
9557	9201	9332	9947	11416	14170	16665	20634	24471	27640
30776	31913	32252							
32113	32217	32000	30234	27804	24345	20669	17019	13932	11338
9552	8943	9067	9829	11668	14324	17460	20815	24930	27925
30447	31860	31954							
32470	32338	31758	29967	27398	24449	20669	17247	13848	11446
9622	8635	8848	9975	11851	14376	17350	20872	24692	28002
30448	31685	32321							
32173	32121	31874	30040	27341	24393	20731	17365	14045	11716
9815	8489	8628	9950	11785	14222	17603	21053	24621	27864
30359	31705	32159							
32380	32191	31662	30306	27996	24455	20748	17426	13942	11686
9733	8316	8605	10007	11930	14450	17583	21209	24722	27764
30875	31932	32238							
32260	32073	31680	30147	27544	24270	20631	16818	14083	11609
9908	8325	8524	9994	11939	14427	17651	21197	24875	28077
30464	31881	32256							
31796	31986	31884	30273	27547	24041	20357	17046	13820	11693
9712	8636	8526	10077	12057	14376	17535	21177	24759	27830
31197	32129	32304							
31912	31913	31871	30275	27751	24603	20486	16857	13748	11424
9772	8975	8727	9889	11727	14493	17227	21073	24878	28185
30445	32073	32168							
32063	32173	31904	30490	27507	24082	20380	16924	13761	11365
9784	9039	8950	9704	11608	14165	17580	21101	24900	28148
30964	32167	32281							
31900	32292	31922	30620	27348	24244	20235	16651	13295	11192
9887	9452	9062	9921	11325	14131	17509	21232	24821	28413
30980	32171	31974							
32151	32376	31765	30356	27440	24439	20381	16551	13249	11158
10029	9540	9611	9793	11302	13701	17190	21078	25398	28196
31073	31813	32164							

32475	32378	31855	30432	27517	24330	20087	16027	12876	10929
10047	9724	9826	9993	10882	13642	17196	20860	25330	28725
31023	31879	31942							
32266	31779	31826	30763	27918	24211	19618	15493	12336	10803
10363	10122	10030	9986	10872	13432	17036	21614	25356	28940
31347	32224	31948							
32162	32012	32269	30770	27834	24325	19763	15233	12151	10711
10584	10308	10364	10109	10785	12971	16914	21301	25578	28795
31396	32035	32259							
32116	32169	32213	31110	27981	24217	19513	15482	12125	10786
10631	10460	10525	10444	10869	12479	16182	21248	25585	29273
31523	31836	32190							
32102	32124	31914	31224	28166	24119	19281	14617	11834	10879
10772	10719	10757	10674	10801	12234	16202	20973	25731	29778
31289	32185	32311							
31888	32002	32194	31677	28274	23960	18652	14086	11683	11057
10867	10827	10919	10657	10905	12286	15762	21188	25944	30388
31752	32003	32032							
32296	32171	31995	32047	28728	23658	18159	13772	11937	11231
11032	11019	11002	10987	10887	11689	15252	20896	26106	30113
31835	32237	32358							
31863	32464	32344	31998	28866	23698	17940	13375	11577	11265
11319	11244	11134	11125	11183	11915	14830	20862	26303	30551
32224	31944	32089							
32251	32062	32005	32420	29127	23338	17291	13192	11614	11281
11141	11253	11338	11335	11004	11847	15084	20519	27022	31133
32020	32202	32453							
32252	32165	32079	32084	29687	22554	16881	13247	11503	11269
11455	11322	11373	11223	11170	11790	15106	20217	27431	31418
32107	31911	32002							
32431	32348	32215	31971	30351	22770	17066	13161	11644	11293
11551	11561	11495	10924	11175	11819	14753	19898	27740	31482
32146	32147	32466							
32003	32233	31809	31882	30555	22196	17001	12919	11573	11585
11473	11479	11318	11529	11280	11908	14934	19678	28258	31660
32310	32048	32097							
32192	31976	32465	32079	30500	22012	16537	12740	11584	11410
11434	11207	11387	11369	11383	11903	15271	20180	29127	31649
32179	32313	32068							
32234	32403	31974	31788	30325	22319	16979	12599	11473	11361
11430	11370	11353	11255	11393	11915	14751	20029	28281	31482
32204	32415	31764							

A.II.19 - MATRIZ DE DADOS TOMO-CP

30401	29462	27561	20957	15589	12427	10472	9313	8700	8068
7844	7535	6954	5497	5085	4755	4417	4311	4406	4580
4795	5124	5761	6656	7373	7671	8174	8530	9616	11092
13602	18558	24068							
30188	29853	27752	20965	15598	12229	10304	9392	8482	8146
7723	7239	6739	6289	5234	4877	4348	4234	4467	4568
4937	5268	5492	6023	7065	7558	8004	8876	9650	11349
13995	18493	24272							
30119	29622	27897	21721	16358	12656	10494	9450	8438	7960
7441	6986	6663	6604	6120	4901	4528	4370	4517	4628
5092	5391	5287	5258	6125	7448	8064	8687	9581	11451
13697	18163	23648							
30035	29883	27911	21668	16650	12941	10766	9560	8542	7867
7143	6615	6403	6444	6415	5572	4832	4552	4588	4774
5135	5406	5181	5131	5565	6594	7989	8604	9710	11493
13957	18627	23621							
30057	29738	27831	21884	16760	13435	10676	9602	8630	7764
6819	6415	6187	6232	6496	6328	5079	4848	4761	5057
5174	5356	5088	5035	5150	6038	7258	8588	9751	11541
14365	18595	23396							
30156	29885	28059	22309	17088	14077	11066	9508	8434	7245
6833	6359	6090	6142	6365	6448	6020	5246	5171	5335
5228	4994	4899	4886	5006	5537	6708	8369	10038	11818
14778	18350	23140							
29821	29750	28239	22530	17199	14075	11519	9568	8156	7021
6674	6093	5967	5752	6099	6500	6578	5915	5558	5462
5142	4816	4645	4767	4950	5447	6137	7668	10170	12300
14850	18780	23565							
30279	29895	28061	22465	17275	14404	11870	9694	8057	6996
6321	6087	5858	5794	5831	6311	6768	6689	5920	5685
5157	4727	4723	4715	4921	5310	6043	7501	9896	12826
15070	18440	23308							
30067	29857	28360	22907	17353	14558	12540	10015	8104	6996
6485	5933	5842	5682	5614	6247	7018	7121	6792	5715
4958	4680	4633	4735	4741	5306	5981	7270	9379	12718
14942	18264	23118							
30226	29535	28065	22514	17060	14363	12252	10085	8090	6914
6474	5921	5636	5563	5797	5937	6860	7427	7266	5880
4879	4511	4604	4570	4947	5265	5978	7271	9186	11914
15019	18698	23324							
30156	29865	28070	22534	17149	14265	12333	10278	8839	7255
6346	5817	5643	5556	5676	5845	6580	7200	7025	5990
5009	4525	4711	4818	5070	5457	6198	7545	8956	11239
14844	18278	23177							

29938	29765	28208	22794	16723	14220	11737	10280	8900	7555
6510	6042	5674	5723	5808	5790	6411	6966	6583	6109
4997	4712	4602	4857	5210	5854	6356	7602	8764	10687
13981	18271	23236							
29993	29711	27966	22031	16721	14174	11429	9826	9012	8014
6756	5991	5652	5591	5653	5931	6084	5889	6079	6007
5260	4820	4763	5106	5463	6094	6683	7669	8870	10466
13731	18534	23767							
30090	29475	28077	22160	16681	13816	11330	9790	8886	8230
7328	6320	5736	5671	5693	5607	5461	5444	5384	5712
5379	4933	5007	5280	5611	6265	6967	7343	8508	10299
13121	18164	23385							
30030	29828	28212	22296	16911	13563	11159	9891	8821	7958
7555	6901	6017	5846	5486	5349	5179	5067	5306	5257
5359	5130	5223	5655	6212	6605	6877	7458	8409	10150
12897	17838	23378							
30083	29616	27903	21527	16389	13228	11010	9725	8857	8212
7642	7057	6444	5821	5228	5191	5124	5176	5224	5182
5352	5364	5460	6031	6214	6609	7068	7397	8535	10151
13020	18193	23781							
30128	29859	27675	21564	16801	13290	11038	9875	8877	8092
7589	7029	6798	5866	5039	4936	5183	5072	5073	5270
5239	5150	5872	6215	6415	6603	6850	7541	8476	9996
12913	17912	23468							
30171	29677	27675	21608	16289	13105	10956	9816	8859	8136
7705	6984	6359	5789	5175	5153	5118	5098	5079	5278
5337	5242	5614	6148	6325	6591	6902	7501	8649	10246
13224	18587	23843							
30305	29229	27725	21013	16287	13036	11036	9737	8874	8080
7248	6657	5793	5404	5557	5314	5079	5266	5318	5511
5363	5274	5430	5840	6338	6528	6919	7642	8791	10593
13702	18708	24254							
30228	29120	27389	21335	16175	13097	11227	9780	8799	8058
7163	6129	5670	5431	5565	5518	5355	5310	5391	5673
5426	5239	5146	5577	6017	6543	7080	7774	8785	10808
14048	18934	24377							
29979	29567	27175	20658	15982	13381	11040	9700	8650	7706
6618	5927	5477	5309	5518	5856	6003	5779	5916	5810
5248	4922	4979	5181	5663	6324	6991	7806	9066	11167
14656	19381	24761							
30350	29345	27173	20706	15971	13627	11361	9620	8645	7265
6424	5689	5340	5384	5364	5755	6229	6416	6366	5899
5021	4887	4765	5034	5489	6111	6798	7923	9451	11829
15470	19408	25011							
29911	29319	26797	20230	16138	13725	11442	9944	8014	6784
6100	5609	5393	5249	5497	5874	6682	7182	6633	5737
5066	4833	4811	5114	5299	5728	6732	8129	10067	12428
15461	19429	24755							

29697	29205	26782	19834	15652	13635	11554	9219	7627	6583
6063	5635	5395	5375	5483	6067	6935	7406	6767	5482
4974	4841	4860	4884	5141	5808	6599	8404	10616	13147
16036	19990	25775							
30206	29579	26945	19661	15637	13558	11660	8904	7457	6675
6132	5626	5394	5586	5646	6018	6672	7065	6379	5497
5016	4819	4782	5029	5196	5687	6703	8355	11031	13789
16193	19933	25729							
29696	28918	26489	19646	15483	13204	10975	8855	7512	6678
5979	5573	5562	5564	5705	6256	6578	6517	6095	5397
5062	4889	4976	4953	5160	5775	6912	8643	11288	13710
16204	20292	26112							
30033	29057	25987	18971	15180	12650	10312	8781	7330	6733
6175	6046	5573	5689	5950	6085	6183	5568	5634	5657
5268	4922	4762	4999	5247	6052	7293	9213	11400	14011
16515	20713	26833							
30191	29063	25876	19104	14833	12131	10092	8879	7755	6954
6321	6037	5817	5743	6062	6025	5542	5268	5307	5607
5448	5061	4896	5083	5629	6361	7569	9388	11027	13542
16329	20539	26845							
29733	29023	25558	18455	14590	11529	9777	8544	7862	6883
6418	6155	5955	5887	5920	5543	5117	4935	4971	5225
5499	5091	5076	5252	5915	6902	8457	9518	10977	13158
16720	21075	27146							
29734	28815	24952	18041	14082	11254	9655	8580	7791	7449
6829	6355	6198	5965	5712	4987	4525	4663	4816	4936
5435	5257	5320	5693	6429	7543	8572	9446	10963	12934
16759	21380	28267							
30224	28566	24908	17718	13513	11050	9679	8538	7969	7624
7175	6475	6226	6079	5223	4802	4551	4524	4715	4982
5154	5439	5586	6135	6870	8084	8343	9483	10829	12921
16594	21471	27861							
29615	28615	24166	17476	13134	10694	9153	8488	7810	7469
7285	6844	6378	5729	4872	4444	4455	4450	4633	4743
5090	5650	6096	6669	7642	8005	8396	9532	10713	12831
16605	21832	27934							
29409	28128	23832	17222	12873	10624	9409	8472	7862	7546
7133	6796	5822	5276	4718	4508	4331	4410	4411	4787
5111	5858	6533	7357	7824	8218	8819	9591	10772	13031
16888	22116	28371							

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ø1. CESAREO, R.; GIANNINI, M. & STORELLI, L. 1982. A miniature X-ray tomography scanner employing radioisotopic sources. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLICATIONS OF PHYSICS TO MEDICINE AND BIOLOGY, Trieste, Italy, Mar.30-Apr.3, 1982. Proceedings... Trieste, ICTP. p. 631.
- Ø2. LITTLER, D.J. & RAFFLE, J.F. 1955. An introduction to reactor physics. New York, McGraw-Hill. p.134.
- Ø3. JOHNS, H.E. & LAUGHLIN, J.S. 1956. Interaction of radiation with matter. In: HINE, G.J. & BROWNELL, G.L., ed. Radiation dosimetry. New York, Academic Press. p.49.
- Ø4. KLEIN, O. & NISHINA, Y. 1964. In: PRICE, N.J. Nuclear radiation detection. New York, McGraw-Hill.
- Ø5. EVANS, R.D. 1968. X-ray and γ -ray interactions. In: ATTIX, F.H. & ROESCH, W.C., ed. Radiation dosimetry. 2.ed. New York, Academic Press. Cap.2, p.94.
- Ø6. MORGAN, K.Z. & TURNER, J.E. 1967. Principles of radiation protection. New York, John Wiley.
- Ø7. PERRIN, F. In ref.6, p.111.

08. GRAY, D.E., ed. 1982. American Institute of Physics hand book. 3.ed. New York, McGraw-Hill. Seção 8, p.1-341.
09. CONDON, E.U. & ODISHAW, H., ed. 1967. Handbook of physics. 2.ed. New York, McGraw-Hill. Pte.7, p.1-157.
10. KNOLL, G.F. 1979. Radiation detection and measurement. New York, John Wiley.
11. SANTALÓ, L.A. 1984. As secções indiscretas: geometria integral, estereologia e tomografia computadorizada. Ciência Hoje, 3(15):26 a 32, nov/dez.
12. In ref.11, p.29
13. HELGASON, S. 1980. The Radon transform. Progress in Mathematics.
14. BOCAGE, E.M. 1921. Patent nº 536464, Paris, França. Apud MASSIOT, J. 1974. History of tomography. Medicina Mundi, 19(3):106-15 E LAVALJEA, M. & FISHGOL, H. 1975. Nuclear-medicine and electrolgy: history of tomography. Journal de Radiologie, 56(8/9):547-9.
15. BRACEWELL, R.N. 1956. Strip integration in radioastronomy. Australian Journal of Physics, 9:198-217.
16. CORMACK, A.M. 1964. Representation of a function by its line integrals with some radiological applications. II. Journal of Applied Physics, 35:2908-13.

17. DE ROSIER, D.J. & KLUG, A. 1968. Reconstruction of Three-dimensional structures from electron micrographs. Nature, 217:130-4.

18. HOUNSFIELD, G.N. 1972. A method of and apparatus for examination of a body by radiation such as X- or Gamma-radiation: british patent nr. 1283915, London. Issued to EMI Ltd. Application filed Aug. 1968.

19. BROOKS, R.A. & DI CHIRO, G. 1975. Theory of image reconstruction in computed tomography. Radiology, 117:561-72, Dec.

20. RAMACHANDRAN, G.N. & LAKSHMINARAYANAN, A.V. 1971. Three dimensional reconstruction from radiographic and electron micrographic application of convolutions instead of Fourier transforms. Proceedings of the National Academy of Sciences, 68:2236-40.

21. MORGAN, I.L.; ELLINGER, H.; KLINKSICK, R. & THOMPSON, S. 1980. Aci Journal: 23-7, Jan/Feb.

22. OPPENHEIM, A.V. & SCHAFER, R.W. s.d. Digital signal processing. Englewood Cliffs, Prentice-Hall. p.91.

23. REBELO, A.M.O. 1984. Reconstrução de imagem em tomografia computadorizada usando o método de convolução. Rio de Janeiro, UFRJ. (Tese Mestrado).

24. ROLLO, F.D. 1977. Nuclear medicine physics, instrumentation, and agents. St. Louis, C.V. Mosby.
25. CRESTANA, S. 1985. A tomografia computadorizada como um novo método para estudos da física da água no solo. São Carlos, IFQSC-USP. 140p. Tese Doutorado.
26. HILLEL, D. 1982. Introduction to soil physics. New York, Academic Press.
27. In ref.25, p.25.
28. In ref.18.
29. SCANLON, L.J. 1983. 6502 software design. Indianapolis, Howard W. Sams. p.16.
30. GAYLOR, W.D. 1983. Apple II circuit description. Indianapolis, Howard W. Sams.
31. TEXAS INSTRUMENTS, Dallas. 1985. The TTL data book for design engineers. 2.ed. Dallas. v.1.
32. NATIONAL SEMICONDUCTOR, Santa Clara. 1984. CMOS data book. Santa Clara.
33. GIACOMO, P. 1979. A stepping motor primer. Part 1: theory of operation. Byte: 90-105, Feb.
34. STEPPER motors respond to direct digital command. 1974. Control Engineering, 21(1):46, Jan.

35. INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. Comissão Nacional de Energia Nuclear, São Paulo. s.d. Manual de instruções: fonte de alta tensão. São Paulo.
36. ANALOG DEVICES, Norwood. 1984. Data-acquisition data - book 1984: integrated circuits. Norwood. v.1, pte 4.
37. NATIONAL SEMICONDUCTOR, Santa Clara. 1982. Linear data book. Santa Clara. p.3-165.
38. INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. Comissão Nacional de Energia Nuclear, São Paulo. s.d. Manual de instruções: amplificador para espectroscopia. São Paulo.
39. INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. Comissão Nacional de Energia Nuclear, São Paulo. s.d. Manual de instruções: Analisador monocanal. São Paulo.
40. INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. Comissão Nacional de Energia Nuclear, São Paulo. s.d. Manual de instruções: duplo contador temporizador. São Paulo.
41. JENSEN, K. & WIRTH, N. 1985. Pascal user manual and report. 3.ed. New York, Springer-Verlag.
42. BOWLES, K.L. 1980. Beginner's guide for the UCSD Pascal system. Peterborough, Byte.
43. SOFTECH MICROSYSTEMS, San Diego. 1980. UCSD Pascal version II.0; user manual. San Diego. 337p.

44. In ref.39, Secção Calibração.
45. NEWTON, T.H. & PLOTTS, D.G., ed. 1981. Radiology of the skull and brain: technical aspects of computed tomography. St. Louis, C.V. Mosby.
46. HUBBELL, J.H. S.D. Photon cross sections, attenuation coefficients and energy absorption coefficients from 10 KeV to 100 GeV. Washington, US. Department of Commerce, National Bureau of Standards.
47. SIEGBAHN, K., ed. 1966. Alpha, beta and gamma-ray spectroscopy. Amsterdam, North-Holland. v.1.
48. YESTER, M.V. & BARNES, G.T. 1977. Proc. SPIE Appl. Opt. Instr. in Med. Section 6, p.127.
49. In ref. 45, ch.114.
50. In ref. 25, p.127.
51. BROOKS, R.A. & DI CHIRO, G. 1976. Principles of computer assisted tomography (CAT) in radiographic and radio isotopic imaging. Physics in Medicine and Biology, 21 (5):689-732.
52. TAYLOR, T. & LUPTON, L.R. 1986. Resolution, artifacts and design of computed tomography systems; nuclear instruments and methods in physics research. Amsterdam, North-Holland.