

## Um Sistema Programável de Controle e Aquisição de Dados

A. RUBENS BRITTO DE CASTRO

*Instituto de Física "Gleb Wataghin"; UNICAMP, Campinas, SP*

Recebido em 10 de Abril de 1978

We describe a microprocessor-based system for data acquisition and control. The system is able to sort data present at input A under control of data present at input B, at rates up to 10 khz and capture time of 3 psec. We discuss how to configure the system for pulse height analysis, straight multi-channel operation and a special "indexed channel" mode useful in pulsed spectroscopy of non-linear effects.

Oscrevemos o projeto, teste e operação de um sistema de controle e aquisição de dados, baseado em um microprocessador monolítico, capaz de ser utilizado de múltiplas maneiras. Entre elas, ilustramos aplicações 5 análise de amplitude de pulso, multi-canal convencional, e uma forma especial de "multi-canal indexado" concebido para contornar problemas de flutuação na intensidade da excitação em medidas de resposta não linear. O sistema é capaz de processar dados presentes em uma entrada A, sob controle de dados presentes em uma segunda entrada B, a razões de até 10 kHz, com tempo de captura de 3 useg..

### 1. INTRODUÇÃO

É bem sabido que o comportamento dos sólidos é convenientemente descrito através do conceito de excitações elementares. Torna-se então relevante determinar propriedades dessas excitações elementares tais como suas relações de dispersão e a natureza das interações residuais entre elas.

Medidas feitas sob condições de equilíbrio térmico, entretanto, não dão em princípio nenhuma informação sobre as interações entre

excitações elementares. Isso decorre do fato de que essas interações afetam a velocidade com que o sistema entra em equilíbrio térmico após ter sido preparado em algum estado arbitrário e abandonado a si próprio, mas não as propriedades termodinâmicas de equilíbrio.

Nisto se funda o interesse das medidas feitas sob condições de equilíbrio que, grosseiramente falando, podem ser separadas em "medidas de tempo de relaxação" e "medidas espectrais" em sistemas altamente excitados. O segundo tipo tem sido bastante explorado no IFGW; assim, foram evidenciadas distribuições não equilibradas de elétrons e fônons em GaAs, CdS, CdTe e ZnSe, usando técnicas de luminescência e espalhamento de luz<sup>1</sup>; as amostras foram excitadas e sondadas com pulsos curtos de luz, provenientes de um ou dois lasers.

Genericamente, o objetivo de todas essas experiências é determinar a resposta não linear do sistema altamente excitado, em função da intensidade de excitação. Há uma dificuldade prática preeminente a ser superada para que medidas desse tipo tenham significado quantitativo inequívoco: a intensidade de excitação deve ser conhecida e/ou controlada como função da posição e do tempo na região ativa da amostra. A. R. Vasconcellos et al. mostraram como levar em conta a não uniformidade espacial da excitação em medidas de absorção a dois fótons e espalhamento em GaAs altamente excitado. O método consiste em determinar o perfil de intensidade do feixe de luz utilizado e calcular numericamente a resposta do sistema, integrada sobre a região ativa<sup>2</sup>. A variação da intensidade de excitação no decorrer do tempo é muito mais difícil de conhecer e sobretudo de controlar.

Considere-se, para sermos concretos, uma experiência de espalhamento de luz sob excitação pulsada. A intensidade espalhada cresce com a intensidade incidente. Seja  $\tau$  a escala de tempo dos processos microscópicos que determinam o comportamento não linear da amostra, e seja  $\Delta$  a duração de cada pulso de excitação. Se, como ocorre nas experiências citadas  $\Delta \gg \tau$ , então a amostra estará em regime estacionário (embora não necessariamente em equilíbrio térmico) a cada momento da excitação, e toda informação necessária para relacionar os dados experimentais com a teoria pode ser obtida tabelando intensidades espalhadas de pico contra intensidades incidentes de pico.

Se a resposta do sistema é não linear, o valor médio da intensidade espalhada de pico não é proporcional ao valor médio da intensidade incidente de pico. Em todas as medidas mencionadas nas referências 1 e 2, esse aspecto do problema foi ignorado, devido à impossibilidade de eliminar as flutuações de amplitude na saída de um laser pulsado, e às dificuldades práticas de registrar outra coisa que não o valor médio da intensidade da luz espalhada. A gravidade do erro decorrente dessa omissão permanece até agora objeto de hipóteses.

O sistema de aquisição de dados a ser descrito abaixo usa o valor de pico de um sinal transiente B (que chamaremos de MONITOR) para controlar dinamicamente o processamento do valor de pico de um sinal A correlacionado com B, a razões de até 10 kHz.

Assim, voltando ao nosso caso concreto de espalhamento de luz, as flutuações aleatórias de intensidade de pico do laser excitador podem ser não propriamente "corrigidas" mas de fato eliminadas de consideração dentro de uma tolerância arbitrariamente estreita (1 0.5% no nosso caso). Isso é conseguido programando o sistema de aquisição para reservar áreas distintas de memória para os espectros provindos de pulsos excitadores com cada intensidade possível entre um máximo e um mínimo predeterminados. Antes de ler o valor do sinal A (intensidade espalhada de pico), o sistema lê o valor do sinal B (intensidade incidente de pico), e usa a segunda informação para decidir onde armazenar a primeira.

Além dessa função, o sistema pode ser programado para operar como multi-canal convencional, sendo o número de canais e a capacidade numérica de cada canal limitados apenas pela quantidade de memória instalada. Pode também trabalhar como analisador de amplitude de pulsos, servindo aí para determinar diretamente uma distribuição de amplitudes, com resolução determinada pelo número de bits do conversor analógico digital utilizado.

Notemos que nas tarefas mencionadas até agora o processador do sistema estará ocioso de 10% a 90% do tempo. Isso abre a possibilidade de instalar "tarefas secundárias" que sejam executadas enquanto o sistema não é solicitado para processar os sinais transientes A e B. Por e-

xemplo, pode ser executada uma rotina que exhibe continuamente em um osciloscópio o conteúdo do multicanal.

Quando não utilizado como instrumento de medida, o sistema representa um pequeno computador com seu terminal local, memória e processador central, inteiramente dedicado ao laboratório, e que pode ser usado para cálculo numérico convencional. Este pequeno computador tem uma conexão com um sistema de memória de massa - os discos de armazenagem do PDP11/45 do Centro de Computação do IFGW - onde residem, entre outros programas de interesse, um Montador para as instruções do microprocessador utilizado no sistema de aquisição de dados a ser descrito.

Na parte 2 será sumariamente discutida a família de circuitos integrados MC6800. Na parte 3 será descrito o sistema de aquisição de dados e controle que construímos com esses componentes. Na parte 4 serão apresentados os resultados de várias experiências que documentam o desempenho do sistema.

## 2. O MICROPROCESSADOR MC6800

A figura 1 é um diagrama funcional do microprocessador monolítico Motorola MC6800<sup>3</sup>. As dezesseis linhas de endereçamento permitem referência unívoca a  $2^{16} = 65.536$  posições de memória distintas, de oito bits cada uma. Será conveniente, para nos referirmos a endereços e conteúdos dos registros, usar o sistema hexadecimal (base 16) com algarismos 0123456789ABCDEF. Números escritos nessa base serão precedidos de um crifão \$.

Os acumuladores A e B podem ser usados para manipulação lógico/aritmética de palavras de oito bits e para transferência de palavras de um endereço para outro.

O contador de programa PC contém a cada momento o endereço da próxima instrução a executar. Seu conteúdo pode ser alterado durante a execução de um programa por meio de instruções de desvio incondicional ou condicional. As últimas fazem referência ao registro do status CCR, que indica sempre o resultado da última operação lógico/aritmética exe-

cutada (resultado nulo? resultado negativo? transbordamento do acumulador? etc.) .

O indexador X permite endereçamento indireto. Isso pode ser exemplificado como segue: a instrução **SUBA \$1000** subtrai do acumulador A o conteúdo do endereço \$1000 - endereçamento direto; já a instrução **SUBA 0**, X subtrai do acumulador A o conteúdo do endereço especificado pelo conteúdo do indexador X - endereçamento indireto. Esse conceito torna possível alterar dinamicamente (durante a execução do programa) os operando-de uma vasta classe de instruções (a saber, aquelas que admitem indexação),

A pilha é uma região de memória reservada pelo usuário para funcionar como área de armazenagem provisória. A entrada e saída (sequencial) de dados desta região é contabilizada pelo contador da pilha SP.

A situação do processador a cada instante é indicada e controlada por um certo número de linhas, das quais estão ilustradas na figura 1 apenas aquelas utilizadas no nosso sistema.  $\Phi 1$  e  $\Phi 2$  são ondas quadradas não coincidentes, com frequência de 1MHz, que marcam o início e o fim das etapas de execução de cada instrução.  $\overline{RS}$  é o sistema de reinicialização. Quando a linha RS é zerada aparece no contador do programa PC o conteúdo dos endereços \$FFFE e \$FFFF. Lá devem estar guardados os dezesseis bits de um endereço. Quando RS passa de 0 a 5 volts, as instruções guardadas a partir desse endereço começam a ser executadas.

$\overline{IKQ}$  é o sinal de requisição de interrupção. Quando a linha  $\overline{TRQ}$  é posta em 0 volts, a execução do programa corrente é interrompida, os conteúdos dos registros relevantes são armazenados na pilha, e no contador do programa PC aparece o endereço inicial de uma "sub-rotina de atendimento" do pedido de interrupção. Atendida a interrupção, os registros do processador são restaurados e prossegue a execução do programa interrompido.

Finalmente,  $R/\overline{W}$  indica se o processador está no momento executando uma operação de leitura ( $R/\overline{W} = 5$  volts) ou de escrita ( $R/\overline{W} = 0$  volts) na memória.

A estrutura de entrada/saída (i.é, a comunicação com o mundo

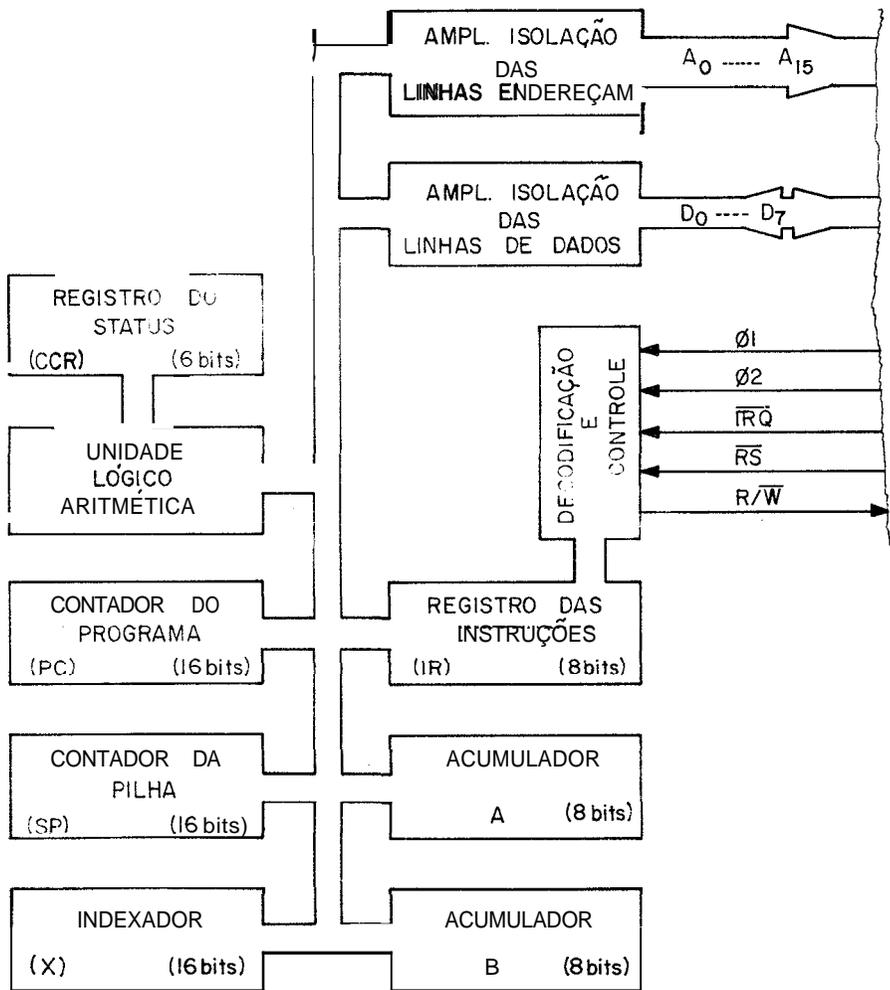


Fig.1 - Estrutura do microprocessador M6800.

externo) é simples. As interfaces de entrada/saída são vistas pelo processador como posições de memória endereçáveis, nas quais se pode escrever, ou das quais se pode ler uma palavra de oito *bits*. Nosso sistema faz uso de dois tipos de interfaces, o PIA MC6820 e o ACIA MC6850.

O ACIA MC6850 transforma uma palavra de oito *bits* em seqüências formadas de pulsos para comunicação serial assíncrona e vice-versa. Do ponto de vista do processador, o ACIA se reduz a quatro registros (i.e., posições de memória) programáveis.

O PIA MC6820 permite acesso paralelo às oito linhas bidirecionais de dados via quatro registros programáveis. No lado do "mundo externo", sob controle dos quatro registros já mencionados, temos dois registros de dados de oito *bits* cada um, duas entradas e duas saídas de controle. No nosso sistema de aquisição de dados, os registros de dados de oito *bits* do PIA são usados para ler o sinal proveniente de conversores analógico-digital de oito *bits*, as entradas de controle para detectar o fim da conversão e gerar uma requisição de interrupção, as saídas de controle para governar o espectrômetro Spex. Um ACIA é utilizado para fazer a comunicação com o PDP11/45 do Centro de Computação do IFGW.

### 3. O SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E CONTROLE

A figura 2 mostra a aparelhagem experimental à qual o sistema de aquisição de dados está associado. O laser produz um sinal de sincronismo (ilustrado pela forma de onda  $\alpha$ ) que precede o pulso de luz por um intervalo curto, dependente dos ajustes Óticos feitos na cavidade ressonante. Os pulsos de luz detetados pelo fotodiodo monitor terminado em  $50 \Omega$  tem o aspecto de forma de onda  $\beta$ . Os geradores de pulso são disparados pelo sinal de sincronismo do laser e produzem os sinais de controle "Janela de Conversão" (forma de onda  $\gamma$ ) e "Início de Conversão" (forma de onda  $\delta$ ). O espectrômetro é acionado por um motor de passo que avança  $0,02 \text{ \AA}/\text{pulso}$ , sendo a direção de avanço programável.

O sistema de aquisição e controle compreende os seguintes módulos funcionais:

- a) fontes de suprimento
  - b) módulos de entrada
  - c) interface com módulos de entrada
  - d) interface com espectrômetro
  - e) interface com terminal local
  - f) interface com PDP11/45
  - g) microprocessador
  - h) memória programada durante a fabricação (ROM), contendo o programa utilitário MIKBUG
  - i) memória de acesso aleatório (RAM)
- a) As fontes de suprimento fornecem: (1) 5 volts a 3 amp, servindo aos



b) O diagrama dos módulos de entrada é apresentado na figura 3. Utilizam-se capturadores de tensão de pico<sup>h</sup> que funcionam da seguinte maneira: enquanto a tensão de entrada  $V_e$  do amplificador operacional U2 está descendo, o capacitor C se carrega negativamente à razão de 6 volts/ $\mu$ seg, até a tensão de saída assumir um valor  $V_s = gV_e$ , onde g é o ganho do amplificador operacional (determinado por  $R_1$  e  $R_2$ ). Quando, no entanto, a tensão de entrada começa a crescer, C vê-se bloqueado pelo diodo D e começa a se descarregar com uma constante de tempo  $(R_1 + R_2)C = 500 \mu$ seg., permanecendo portanto quase constante durante o intervalo necessário para a conversão analógica/digital (16  $\mu$ seg.). A chave T é mantida aberta durante um intervalo adequado aplicando tensão nula à base. Fora desse intervalo de medida, T conduz e mantém o capacitor C descarregado, esperando o próximo transiente a capturar. O sinal "Janela de Conversão" já mencionado é aplicado à base de T e controla o intervalo de medida. Assim, após detecção de um transiente, está presente no coletor de T um pulso retangular de altura proporcional à amplitude de pico de transiente capturado e largura (determinada por "Janela de Conv.") de  $\approx 20 \mu$ seg. Depois de passar por um amplificador de isolamento com entrada de alta impedância, o sinal é injetado no conversor analógico/digital. A conversão começa na transição 5 volts - 0 volts do pulso "Inic.Conv.". O fim da conversão é assinalado por uma transição 5 volts - 0 volts na linha  $\overline{EOC}$  à saída do conversor. Essa transição deflagra a transferência da correspondente palavra de oito bits da interface para a memória de acesso aleatório. A velocidade de resposta dos amplificadores operacionais disponíveis no mercado local limita a duração do transiente mais curto que pode ser digitizado com este circuito a cerca de 3 pseg. Como os pulsos de luz geram saídas, tanto na fotomultiplicadora como no fotodiodo monitor, cerca de 10 vezes mais curtas, fez-se necessário integrar esses sinais no estágio inicial de cada módulo de entrada. Entretanto, ajustado o laser para uma potência de saída determinada, a largura dos pulsos flutua muito menos que sua amplitude; portanto a integração do sinal não invalida o propósito inicial do sistema.

c, d, e, f, g) Estas funções estão alojadas em uma mesma lâmina de circuito impresso. Um diagrama simplificado é mostrado na figura 4. A interface com os módulos de entrada é constituída pelos dois registros de dados do PIA1 (MONIT = \$8008, FOTOM = \$800A) e suas duas entradas de con-

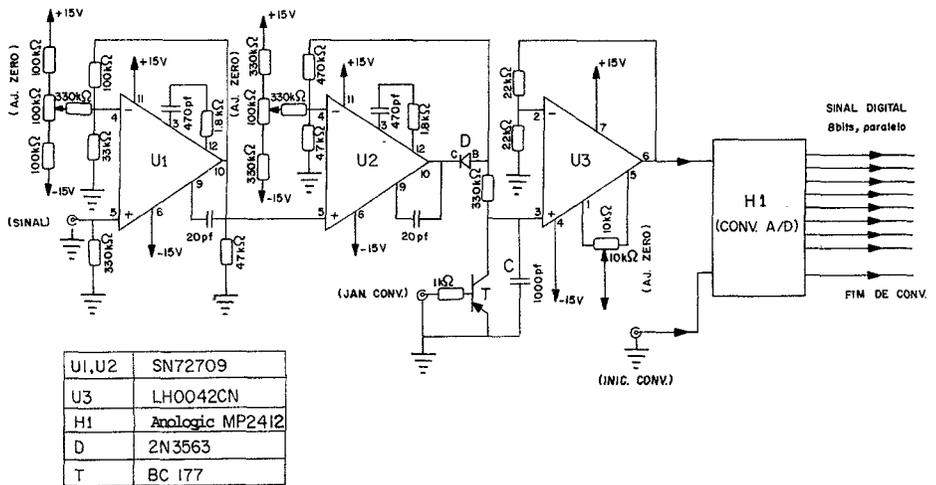


Fig.3 - Circuito esquemático do preamplificador/capturador de tensão de pico.

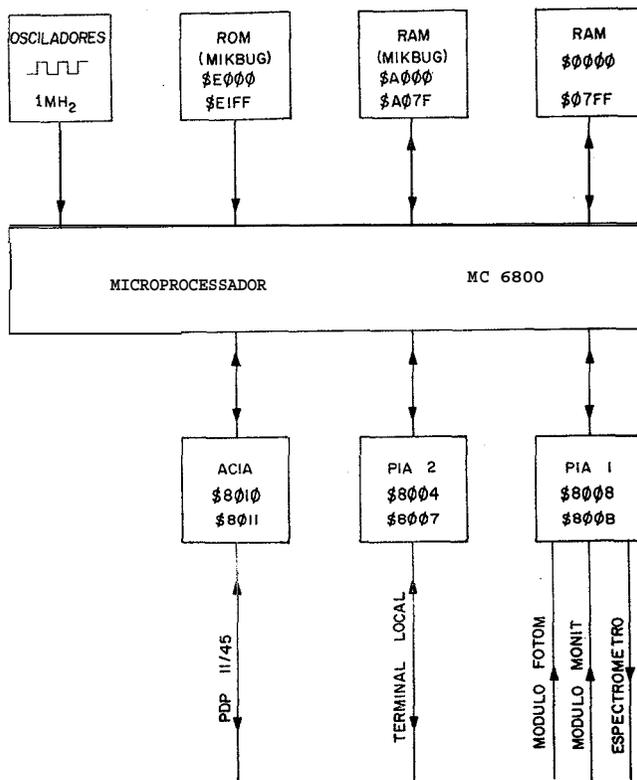


Fig.4 - Diagrama de bloco do kit de avaliação da família M6800.

trole, cuja situação é indicada a cada momento pelo conteúdo dos registros de controle/status (CSMON = \$8009, CSFOT = \$800B) do mesmo PIA. As linhas "Direção de Avanço" do espectrômetro estão ligadas às duas saídas de controle do PIA1, e são manipuladas através dos registros CSMON e CSFOT já citados. O terminal local está ligado ao PIA2, que desempenha as funções de conversor paralelo/serial à razão de 30 caracteres por segundo. A linha de comunicação serial com o PDP11/45 começa e termina em ACIA's. No lado do laboratório o ACIA responde pelos endereços \$8010 e \$8011. No lado do Centro de Computação o ACIA faz parte de um "terminal inteligente"<sup>u5</sup> que deverá vir a ser operado como multiplexador de vários canais. O terminal se comunica com o PDP11/45 em forma paralela, a razões superiores a 100.000 caracteres/segundo.

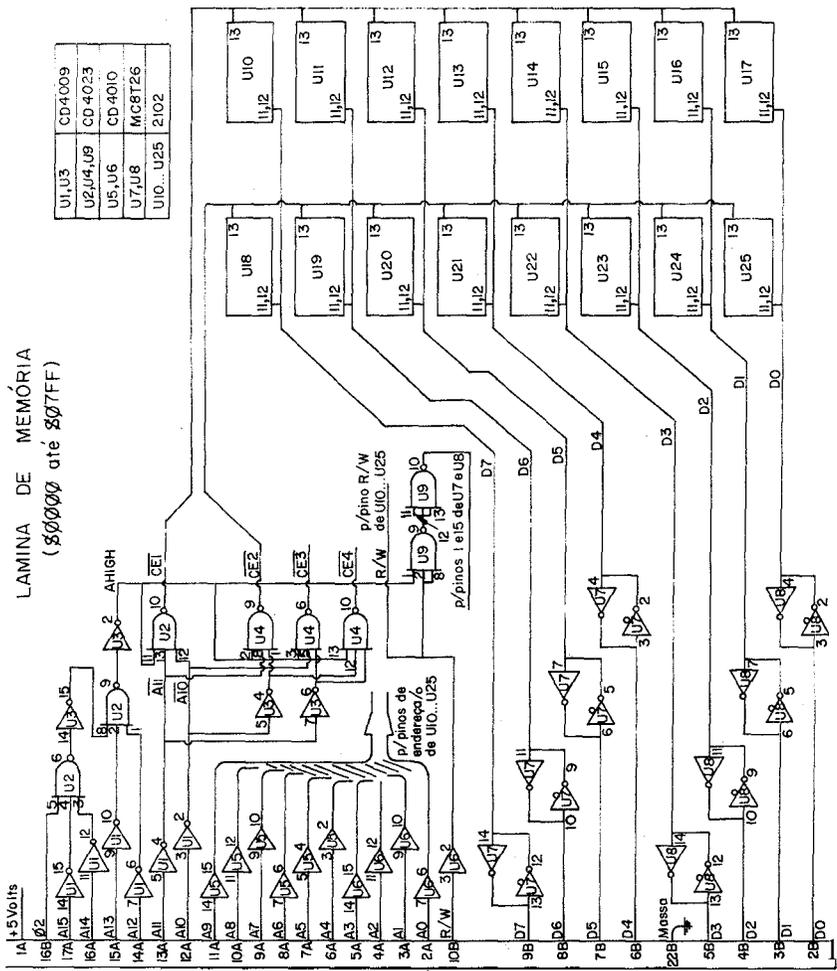
A memória programada durante a fabricação (ROM contém MIKBUG, um programa utilitário com rotinas de conversão binário/ASCII, rotinas de entrada e saída pelo terminal local, rotinas que permitem examinar e alterar manualmente o conteúdo dos registros do microprocessador e da memória, etc. MIKBUG foi usado para escrever na memória programas de teste e os programas de medidas listados no apêndice. Foi também indispensável para depurá-los. Além disso, quando o sistema de aquisição de dados apresenta sintomas inquietantes, o microprocessador e alguns módulos a ele associados podem ser testados instantaneamente fazendo executar instruções de MIKBUG. A mesma lâmina contém ainda uma pastilha de memória de acesso aleatório (RAM) com 80 posições, para uso geral e onde MIKBUG localiza a pilha.

Todas as funções descritas aqui puderam ser conveniente e economicamente implementadas utilizando um *kit* de avaliação da família M6800 comercializado pela Motorola Inc.

h) A memória de acesso aleatório (RAM) com 2k, de projeto e construção caseiros, foi montada em uma segunda lâmina de circuito impresso. Seu diagrama é dado na figura 5.

As linhas de dados D0 até D7 passam por amplificadores bidirecionais de três estados (saída = 0 volts, saída = 5 volts, saída no estado de alta impedância) tipo MC8T26.

LAMINA DE MEMÓRIA  
(80000 até 807FF)



U1,U3	CD4009
U2,U4,U8	CD 4023
U5,U6	CD 4010
U7,U8	MC8T26
U10... U25	2102

Fig 5 - Circuito esquemático da lâmina de memória com 2k pos cores do t e t c d.

As linhas R/W e de endereçamento A0 até A9 passam por amplificadores de isolamento tipo CD4009, sendo aí ligadas aos correspondentes pinos de todas as "colunas de memória" tipo 2102. Os circuitos integrados tipo 2102 estão dispostos em dois grupos de oito pastilhas cada; o primeiro grupo atende pelos endereços \$0000 até \$03FF, o segundo pelos endereços \$0400 até \$07FF. Mais dois grupos podem ser instalados na mesma lâmina, completando um total de 4k posições de oito bits. Dentro de cada grupo, cada uma das oito pastilhas está ligada a uma das oito linhas de dados.

As linhas de endereçamento A10 até A15 estão ligadas à lógica implementada por U1, U2, U3, U4, que gera os sinais de habilitação  $\overline{CE1}$ , CE2, CE3,  $\overline{CE4}$ . Estes Sinais são injetados nos pinos de habilitação das pastilhas de cada grupo, e ativam o grupo adequado em cada referência feita à lâmina de memória.

O sinal presente no pino 2 de U3 tem o significado de sinal de habilitação da lâmina de memória. Este sinal, junto com R/W, é aplicado a U9 e gera um sinal de habilitação dos isoladores bidirecionais de acordo com a seguinte tabela

R/W	pino 2	S.Habil.	
0	1	0	(operação de escrita na lâmina)
0	0	0	(referência fora da lâmina)
1	1	1	(operação de leitura da lâmina)
1	0	0	(referência fora da lâmina)

Isso garante que os MC8T26 só assumam controle das linhas de dados quando se for executar uma operação de leitura em endereço pertencente à lâmina e é imprescindível para evitar conflito nas linhas de dados e paralisação do sistema<sup>6</sup>.

A lâmina não foi testada dentro de critérios industriais. Contentamo-nos de executar um programa que em cada endereço escreve, para depois ler e comparar com o conteúdo desejado, todas as palavras de \$00 até \$FF. Quando o teste falha são impressos no terminal o endereço e o conteúdo depois do teste. Desta forma foi possível localizar sem dificuldade, logo na verificação inicial, algumas pastilhas 2102 defeituosas; até ago-

ra não se registrou nenhum outro defeito na memória. De fato, a parte digital do sistema tem se mostrado altamente **confiável**.

#### 4. ALGUMAS APLICAÇÕES DO SISTEMA

O sistema foi projetado e montado tendo especificamente **em vista** as medidas de espectroscopia pulsada não linear (EPNL), **cujos** resultados preliminares são descritos no *fim* desta seção. As outras **medidas**, apresentadas a seguir, serviram o duplo **propósito** de (a) permitir ao autor se familiarizar com o sistema e enfrentar desafios de **programação** e teste com complexidade crescente, e (b) fornecer subsídios sobre o laser CR66 e a fotomultiplicadora EMI necessários para parametrizar adequadamente a experiência de EPNL. Nesse sentido, mostraremos como o sistema pode ser configurado para:

- (1) **Análise** da distribuição de intensidades incidentes
- (2) Análise da distribuição de resposta da fotomultiplicadora
- (3) Função de multicana1 convencional
- (4) EPNL

##### 4.1 - Análise da Distribuição de Intensidades Incidentes

Aqui, evidentemente, não se faz uso nem do **módulo** FOTOM nem do espectrômetro.

A figura 6 é um diagrama de fluxo do programa executado pelo microprocessador. O fim da conversão **analógico** digital em MONIT causa a mudança do *bit* mais significativo do registro de **controle/status** a ele associado (**CSMON**). O programa lê esse registro repetidamente, até **detectar** a mudança; aí a palavra de oito bits gerada pela conversão em MONIT **também** é lida. Essa palavra assume valores entre \$00 e \$7F, e é usada para calcular o endereço de um canal de dezesseis bits, que então é **incrementado**. Cada canal ocupa duas **posições** consecutivas de **memória** e admite um **conteúdo** numérico máximo igual a  $2^{16}-1 = 65.535$ . O canal é referenciado indiretamente, usando o indexador X, e a **adição** é feita em dupla **precisão**. O parâmetro TOTAL deve ser fornecido via terminal local

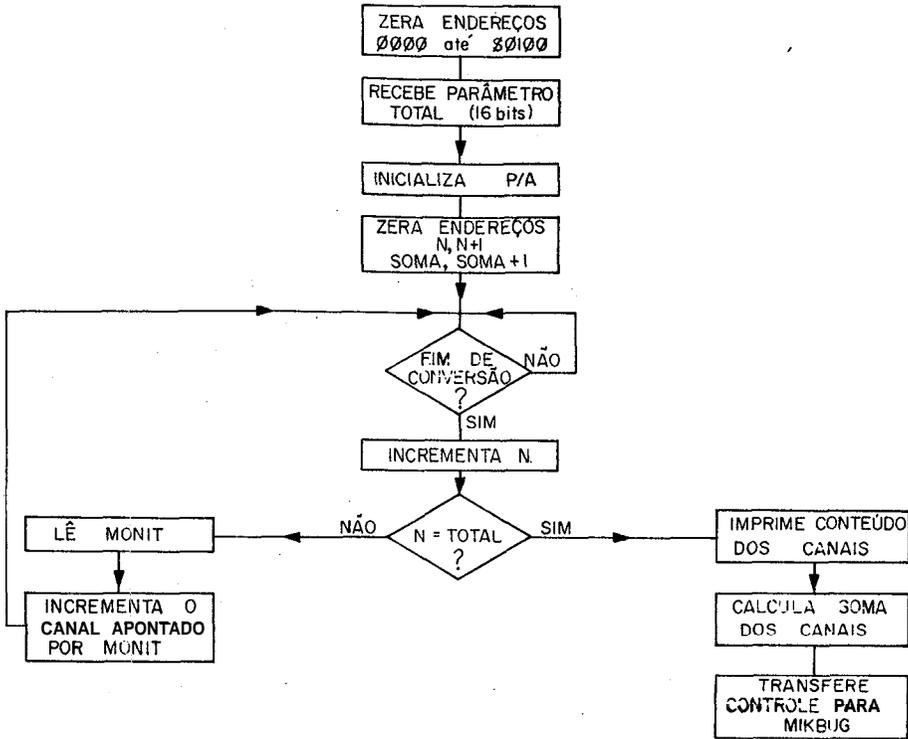


Fig.6 - Diagrama de fluxo do programa para análise de amplitude de pulso

no início da medida e representa o número total de pulsos de luz a analisar. Quando a variável N atinge o valor TOTAL o programa imprime, no terminal local, o conteúdo dos canais \$00 até \$7F, na forma de uma matriz com treze linhas e dez colunas. Em seguida o controle é transferido para MIKBUG.

A figura 7 ilustra resultados típicos para o laser CR66 em regimes de alta e baixa potência de pico. Note-se, na distribuição a baixa potência de pico (alta frequência de repetição), a ocorrência de vários máximos. Esse efeito também é observável visualmente no osciloscópio e reflete flutuações entre os vários modos concorrentes de oscilação na cavidade Ótica.

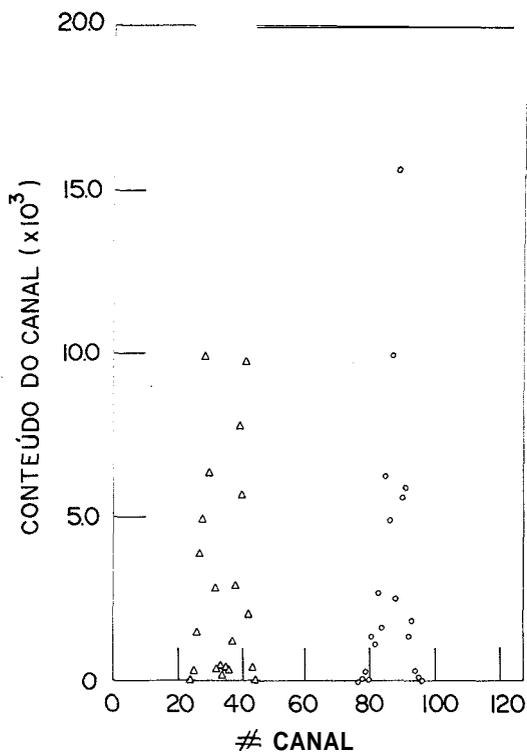


Fig.7 - Distribuição de intensidades de pico à saída do laser CR66, para dois valores de excitação. Foram analisados, em cada caso, 5000 pulsos.

#### 4.2 - Análise da Resposta da Fotomultiplicadora

A detecção de luz com comprimento de onda na região de  $1 \mu\text{m}$  é possível usando fotomultiplicadoras com fotocátodo tipo S-1, mas precária. A baixa eficiência quântica do detetor nessa região (cerca de 0,1%) causa largas flutuações na amplitude de resposta, sob excitação por pulsos fracos de luz. Para assegurar um desempenho linear do sistema de detecção, é essencial que, sob a mais alta excitação prevista, a saída do captador no módulo FOTOM se mantenha abaixo do valor limite 10 volts (fundo de escala do conversor analógico digital usado).

A figura 8 ilustra a distribuição de amplitudes dos pulsos resposta, sob excitação constante dentro de  $\pm 5\%$ , em condições típicas de uma experiência Raman onde o sinal Raman é forte. Essa distribuição foi

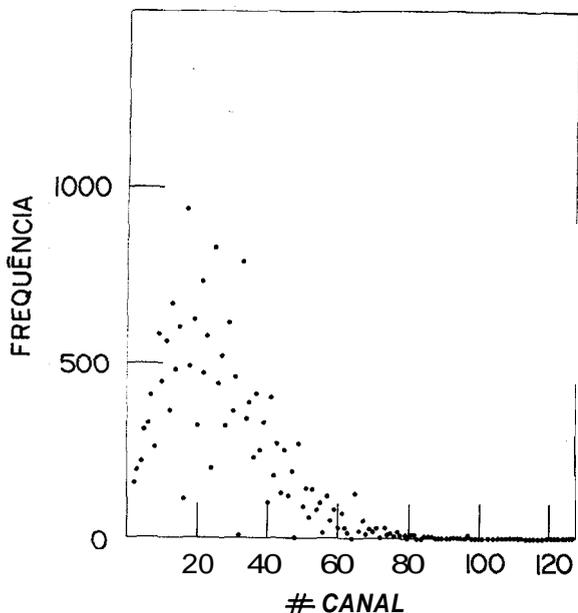


Fig.8 - Distribuição de amplitudes de pico à saída da fotomultiplicadora EMI. A intensidade incidente é constante e típica de um sinal Raman forte.

obtida após otimizar o ganho de tensão no módulo FOTOM. A ausência de pulsos de saída com grande amplitude garante a não ocorrência de saturação do sistema de detecção.

O programa utilizado para estas medidas está ilustrado na figura 9. Difere do anterior no fato de agora usarmos MONIT para ignorar eventos correspondentes a intensidades incidentes fora da faixa determinada pelos parâmetros MAX e MIN (cada vez que a condição  $MIN < MONIT < MAX$  é violada, o contador REJEIT é incrementado). Além disso, o canal a ser incrementado é agora apontado por FOTOM.

### 4.3 - Função de Multicanal Convencional

Neste modo de operação o microprocessador: (a) controla o avanço do espectrômetro em passos predeterminados para fazer múltiplas varreduras começando em  $\lambda_1$  e terminando em  $\lambda_2$ ; (b) acumula no canal corres-

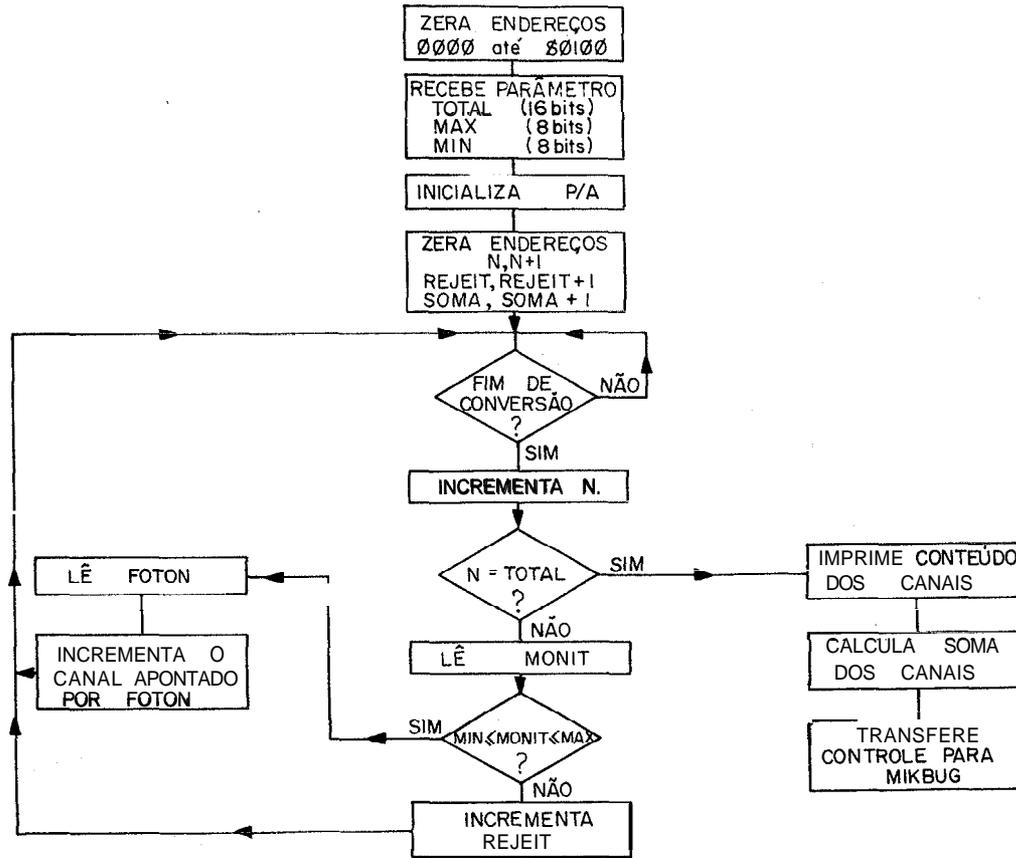


Fig.9 - Diagrama de fluxo do programa para determinar a distribuição de amplitudes na saída da fotomultiplicadora EMI.

pondente a cada comprimento de onda  $\lambda$  o sinal correspondente a NTOTA pulsos incidentes de luz. Aqui não se utiliza o modulo MONIT.

A figura 10 ilustra o sinal de Raman de primeira ordem correspondente ao fonon L0 em GaAs, acumulado em quatro varreduras. Foram usados NTOTA = 2560 = 256<sub>10</sub> pulsos de luz por ponto por varredura, sendo a frequência de repetição do laser igual a cerca de 5 kHz.

O programa utilizado está ilustrado na figura 11. Para controlar o espectrômetro são utilizadas as duas "saídas de controle" do PIA. Uma governa a direção de avanço e a outra gera trens de pulsos que são

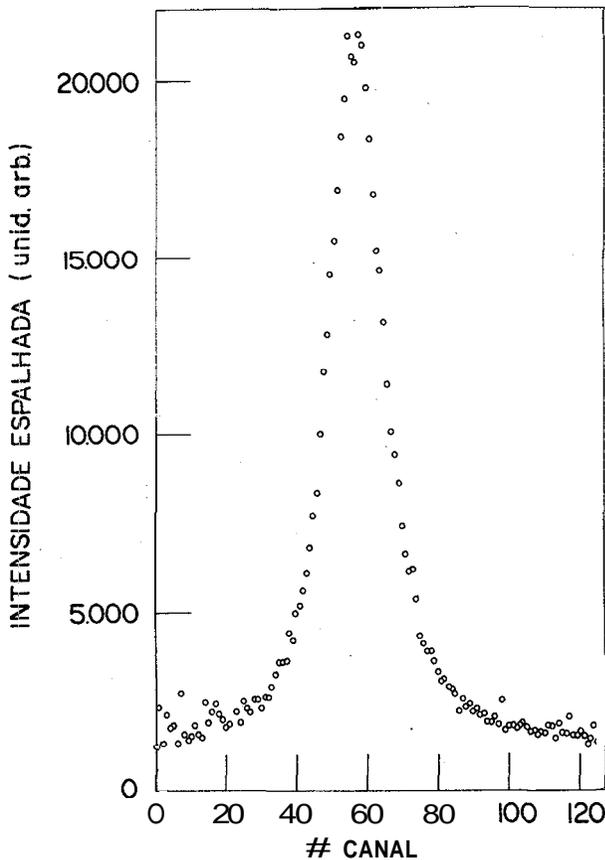


Fig.10 - Espectro Raman do fonon L0 em GaAs, acumulado em 4 varreduras, utilizando a configuração de multi-canal convencional. A potência média incidente é 2.5 W, a frequência de repetição 5 kHz, avanço de 0.2 %canal, e foram analisados 2560 pulsos por canal e por varredura.



#### 4.4 — Espectroscopia Pulsada de Efeitos Não Lineares (EPNL)

Esta é a configuração mais complexa; para cada valor do comprimento de onda  $\lambda$  selecionado pelo espectrômetro, sinais provenientes de pulsos de luz com intensidades diferentes são guardados em áreas diferentes da memória.

A figura 12 é um diagrama de fluxo do segmento residente no laboratório; um segundo segmento (escrito em FORTRAN) reside no PDP11/45 e supervisiona definição, abertura e fechamento de arquivos, efetua a conversão de dados hexadecimais em decimais, etc. A possibilidade de comunicação com um sistema de memória de massa é agora essencial, pois para cada valor de  $\lambda$  é gerada uma coleção de  $2048$  palavras de oito *bits*, que deve ser guardada em algum lugar antes de incrementar  $\lambda$  (avançar o espectrômetro).

A área local de armazenagem de dados se estende de  $0000$  até  $00FF$  ( $128_{10}$  canais consecutivos de dezesseis *bits* cada um, referidos como *sub-canal de dados*) e de  $0100$  até  $01FF$  (outros  $128_{10}$  canais consecutivos de dezesseis *bits* cada um, referidos como *sub-canal de normalização*).

Após receber os parâmetros para a varredura (o programa não prevê varreduras múltiplas) e inicializar as variáveis, o sistema espera um FIM DE CONVERSÃO analógico/digital no módulo de entrada MONIT. O número presente em MONIT, após ser negado, assume valores entre zero e  $7F$  ( $127_{10}$ ), sendo função crescente da potência incidente de pico. Ele determina o sub-canal de dados onde vai ser somado o número presente em FOTOM. É obviamente necessário, na hora de reconstruir os espectros a partir desses blocos de dados, saber quantos pulsos do laser tiveram cada possível valor de amplitude de pico. Para tanto, cada vez que se faz referência a um sub-canal de dados, o correspondente sub-canal de normalização é incrementado.

Completado o número desejado de pulsos de luz (parâmetro CICLOS) e antes de avançar o espectrômetro, o bloco  $0000 - 01FF$  é transferido para o PDP11/45, em grupos de  $66_{10}$  caracteres hexadecimais ASCII de cada vez. Destes, 64 correspondem à conversão de trinta e duas posições

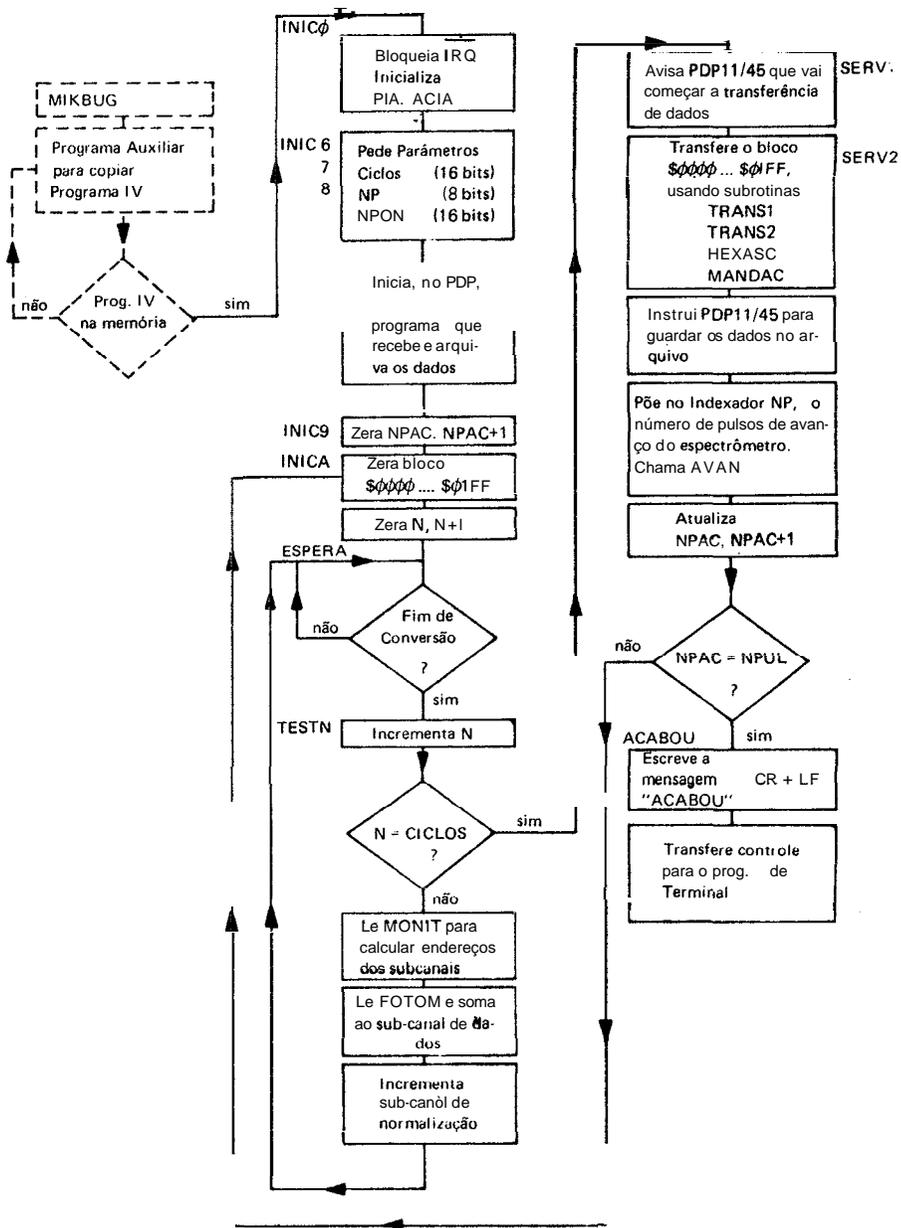


Fig.12 - Diagrama de fluxo para medidas de EPNL

consecutivas de memória (16 canais); os dois últimos correspondem aos oito *bits* menos significativos de uma "soma de verificação" armazenada na variável CSUM. A rotina de transferência faz uso das variáveis CASA=

= 0, 1, 2, ... \$1F e GRUPO = 0, \$20, \$40, ... \$01E0. Os comandos entre TRANS1 e TRANS2 calculam o endereço de cada palavra a transferir, escrevem-no no indexador e somam essa palavra a CSUM. TRANS2 separa, na palavra a enviar, os quatro bits menos significativos dos quatro mais significativos, transforma cada um desses números binários em caracteres hexadecimais ASCII (usando HEXASC) e envia cada um dos dois, utilizando MANDAC.

Ao fim da varredura o programa avisa o operador e aí transfere controle para uma rotina que permite operar a impressora do laboratório como terminal do PDP11/45. Isso é útil para verificar se o arquivo de dados foi adequadamente fechado ao fim da medida, e para executar o programa (em FORTRAN) que analisa e tabela os dados obtidos.

A figura 13 mostra uma família de espectros de fonon TO em GaAs, obtida em uma única varredura, pelo procedimento descrito acima. Especialmente dignos de nota são os fatos seguintes: (a) os espectros resultam automaticamente normalizados, a despeito de uma variação de ordens de grandeza na frequência de ocorrência das várias possíveis intensidades de pico dos pulsos de luz incidentes na amostra. A estatística de cada espectro, por outro lado, é tanto melhor quanto maior a frequência de ocorrência da correspondente intensidade de pico. (b) os espectros vão se tornando mais intensos, independentemente de sua qualidade (relação sinal/ruído), à medida que a intensidade de pico dos pulsos de luz aumenta. Isso, naturalmente, ocorre porque a intensidade da luz detectada é proporcional à intensidade da luz incidente, pelo menos para as intensidades moderadas utilizados nestas medidas.

Vale apenas ressaltar de novo o papel crítico do sistema PDP11/45 no contexto destas medidas, não só porque elas seriam impossíveis sem o concurso de armazenagem de massa, como porque o correto entrelaçamento e sincronismo dos programas que correm no PDP11/45 e no MC6800 exigiu quatro meses de paciente e delicado trabalho deste autor. No presente estágio de instalação do equipamento, as tarefas que o PDP11/45 executa para o laboratório são virtualmente "transparentes" para os outros usuários do sistema de partilhamento RSX-11M; estas tarefas são ativadas remotamente pelo próprio programa (residente no MC6800) que controla a aquisição de dados no laboratório.

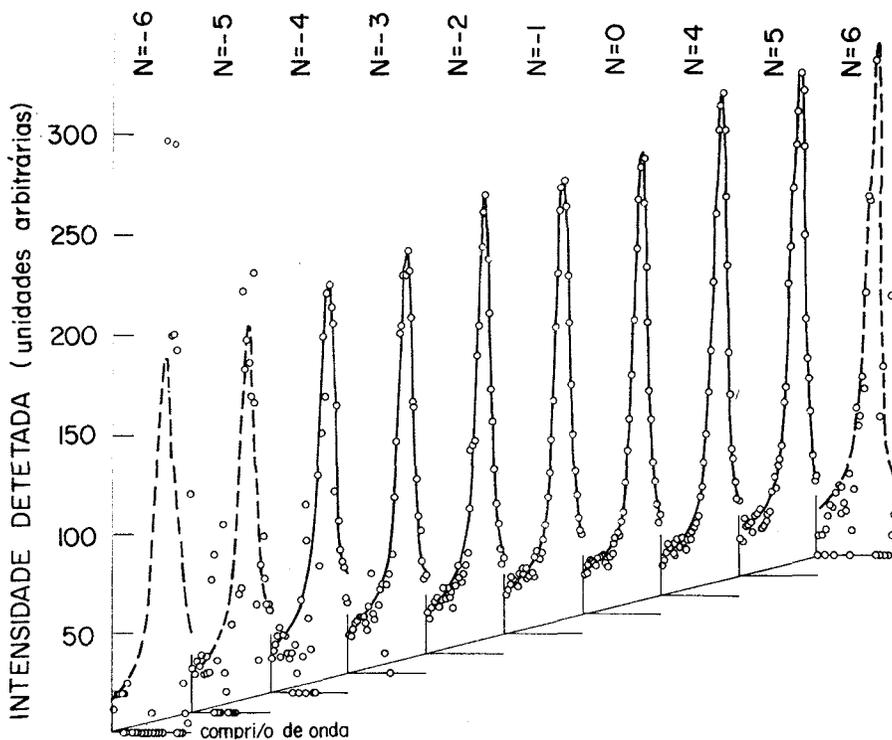


Fig.13 - Família de espectros Raman do fonon LO em GaAs, obtida em uma Única varredura, usando a rotina de multicanal indexado. Para cada valor do comprimento de onda, foram processados 5000 pulsos de laser; a separação entre pontos em cada curva é  $0,4 \text{ \AA}$ . Os espectros correspondem a potências incidentes de pico  $I(N)$  dadas por  $I_0 + (N - 1/2)\Delta \leq I \leq I_0 + (N + 1/2)\Delta$ , onde  $I_0 \sim 1300$  Watts e  $\Delta \sim 27$  Watts. A frequência de repetição do laser foi 5 kHz e a potência incidente média 1,7 Watts.

## 5. CONCLUSÕES

Descrevemos o projeto, teste e aplicação de um sistema de controle e aquisição de dados, capaz de capturar transientes com duração  $\geq 3 \mu\text{seg}$ , a razões de até 10 kHz. Por ser baseado em um microprocessador, o sistema é programável e pode ser configurado, sem alterações de circuito, para desempenhar uma variedade de funções. Algumas dessas funções foram exemplificadas.

O sistema substitui instrumentos importados do tipo multi-canal convencional ou analisador de amplitude de pulso, com as seguintes vantagens:

- a) custa uma fração do preço daqueles instrumentos.
- b) o tempo de construção e teste é competitivo (e muito favoravelmente) com as demoras já clássicas de importação de aparelhagem científica.
- c) como, digamos, 99% dos componentes utilizados, embora importados, estão disponíveis no mercado interno, as dificuldades associadas à obtenção de peças de reposição ficam reduzidas por um fator da ordem de 100.
- d) oferece capacidade de processamento de dados autônomo, a razões certamente inferiores às dos computadores comerciais, mas a um preço de utilização desprezível.
- e) finalmente, e sobretudo, convém lembrar aqui que quando as medidas são feitas por aparelhagem projetada e construída para esse fim pelo pesquisador interessado, ele atinge um domínio sobre seus dados e uma percepção sobre o significado dos números obtidos, muito maior que quando as experiências são feitas usando caixas pretas comerciais. Esse aspecto assume urgência ainda maior para os estudantes envolvidos no projeto, que face à instrumentação importada tendem a se concentrar no aspecto operacional, raramente sendo capazes de especificar as limitações do seu instrumental, e menos ainda de fazer sua manutenção.

O autor se manifesta grato ao Chefe do Depto. de Física do Estado Sólido e Ciência dos Materiais, prof. S. Caticha Ellis, pelo incentivo dado e pronta liberação das verbas solicitadas para o projeto.

Este projeto não poderia ter sido completado sem a orientação recebida de K. L. Shaklee, a quem o autor deve sua indicação no terreno da eletrônica digital, nem sem o suporte de programação e a ajuda dada por A.A. Leite Filho e A.C. Gatti.

Finalmente foi preciosa a contribuição de colegas que também estão desenvolvendo projetos baseados no MC6800, com os quais pudemos trocar idéias e componentes - E.G. Llesma, B.M. Kale, C. A. Ribeiro e especialmente A.A. Leite Filho. O autor também registra sua gratidão a J.B. Salzberg pelo constante interesse com que acompanhou este projeto, e por ter lido e comentado o manuscrito.

## REFERÊNCIAS

1. J.C.V. Mattos, W.O. Guimarães e R.C.C. Leite, *Opt.Comm.*, **8**, 73(1973); E.A. Menezes, N. Jannuzzi e R.C.C. Leite, *Solid State Comm*, **13**, 245 , (1973); J. A. Freitas Jr., J.C.V. Mattos, E.G. Lluesma e R. C. C. Leite, *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on the Physics of the Semiconductors*, Stuttgart 1973; J.C.V. Mattos e R.C.C. Leite, *Solid State Comm.*, **12**, 465 (1973); E.G. Lluesma, G. Mendes, C.A. Arguello e R.C. C.Leite, *Solid State Comm*, **14**, 1195 (1974); J.C.V. Mattos, J.A.Freitas Jr., E.G.Lluesma e R.C.C. Leite, *Solid State Comm*, **24**, 1199 (1974); R. S. Turtelli, A.R.B. de Castro e R.C.C.Leite, *Solid State Comm*, **16**, 969 (1975); E.A. Menezes, N. Jannuzzi, J.G.P. Ramos, R.Luzzi e R.C.C.Leite, *Phys. Rev. B*11, 2213 (1975).
2. A.R. Vasconcellos, R.S. Turtelli e A.R.B. Castro, *Solid State Comm*, **22**, 97 (1977).
3. "M6800 Microcomputer System Design Data"; **M6800 Programming Manual**"; "M6800 Microprocessor Applications Manual", **Motorola Inc.**, USA 1976. "MCM6830 MIKBUG ROM", M Wiles e A. Felix, **Motorola Engineering Note 100**, Motorola Inc, USA 1974.
4. H. Sommer, *Hewlett Packard Journal* 19 (Jan 77).
5. A.A.Leite Filho, *Um terminal inteligente*, publicação interna, Unicamp, Dez. 1977.
6. O autor registra sua gratidão a K.L.Shaklee por ter chamado a atenção a respeito, e ter sugerido a técnica de teste descrita no texto.