INSTITUTO DE FISICA E QUIMICA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE FISICA E CIENCIA DOS MATERIAIS
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

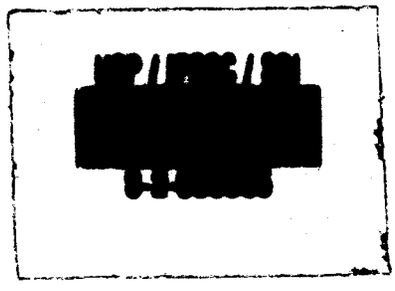
"AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMAS PARA MEDIDAS ELETRICAS EM POLIMEROS."

Mírian Nakandakari Jaime

Dissertação apresentada ao Instituto de Física e Química de São Carlos, para a obtenção do Título de Mestre em Física Aplicada

Orientador
Prof. Dr. José Alberto Giacometti

SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO - IFQSC
FÍSICA



SÃO CARLOS
1989

MEMBROS DA COMISSÃO JULGADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

Mirian Nakandakari Jaime APRESENTADA

AO INSTITUTO DE FÍSICA E QUÍMICA DE SÃO CARLOS, DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, EM 15 DE dezembro DE 1989.

COMISSÃO JULGADORA:

Dr. José Alberto Giacometti Orientador

Dr. Valentin Obac Roda

Dr. Antonio Rubens Brito de Castro

Dedico este trabalho ao Joaquin,

à minha mãe e meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Alberto Giacometti, pelo orientação científica, dedicação, sugestões, assistência e incentivo, sem os quais não seria possível concretizar este mestrado.

Ao Joaquín, pela atenção, compreensão, sugestões e auxílio técnico e pessoal.

Ao engenheiro Aldo F. Naletto Jr., pelo auxílio técnico devido a sua valiosa experiência em sistemas computacionais.

Ao amigo Alfredo Jorge, pela atenção, discussões, sugestões e pelo auxílio no bom desempenho do sistema.

Ao Dante Chinaglia, Marco A. Semenzato e Ademir Soares, pelo bom desempenho nos serviços prestados.

A grande amiga Janete Alaburda, pela assistência e colaboração.

Aos professores do Grupo pelas valiosas sugestões e colaborações, durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas do Grupo pela colaboração e incentivo na execução deste trabalho e por utilizarem o sistema desenvolvido.

A Yvone A. Biason, pelos serviços prestados.

Aos colegas da TELEBRAS pelo incentivo.

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro da FAPESP e da TELEBRAS.

I N D I C E

INDICE DE FIGURAS. I

INDICE DE TABELAS. III

RESUMO. IV

ABSTRACT V

I - INTRODUÇÃO. Ø1

II - TECNICAS DE PROCESSO TERMO ESTIMULADO Ø5

II.1 - Introdução Ø5

II.2 - Corrente Termo Estimulada em Circuito Fechado (TSC) Ø7

II.3 - Descarga Termo Estimulada em Circuito Aberto (TSD). Ø9

II.4 - Corrente Piroelétrica. 13

II.5 - Aquecimentos não Lineares. 14

III - SISTEMA DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS. 16

III.1 - Aquecimento e Medida dos Parâmetros da Amostra. 17

III.2 - Amplificadores. 22

III.3 - Controlador (Microcomputador) 24

III.4 - Placa Interface 26

III.5 - Acionador de Carga. 32

III.6 - Erros de Medição. 34

III.7 - Comentários 34

IV - PROGRAMAS PARA CONTROLE DE TEMPERATURA E AQUISIÇÃO DE DADOS. 36

SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO - IFQSC
FÍSICA

IV.1 - Descrição do Programa em Linguagem de Alto Nível: CTRL.BAS 37

IV.2 - Descrição do programa em Linguagem de Baixo Nível: CTRL.ASM. 49

IV.3 - Comentários. 54

V - ANALISE DOS RESULTADOS. 56

V.1 - Funções de Controle de Temperatura. 56

V.2 - Medidas Realizadas. 63

VI - DISCUSSOES E CONCLUSAO. 68

VII - PROPOSTA DE TRABALHO FUTURO 70

APENDICES

A - Termopar. 71

B - Aquecedores 72

C - Acesso Externo ao Apple 76

D - Listagem dos Programas CTRL.BAS e CTRL.ASM. 81

E - "Lay-Out" das Placas do Sistema 92

INDICE DE FIGURAS

Fig.II.1.a: Esquema para polarização e TSC 08

Fig.II.1.b: Aplicação de E e T em função do tempo. 08

Fig.II.2: Sistema de TSD com medida de carga e corrente. . . 10

Fig.III.1: Sistema de controle automático 16

Fig.III.2: Diagrama em blocos do sistema de controle e aquisição de dados 17

Fig.III.3: Aquecedor: corte lateral 19

Fig.III.4: Montagem para medida de temperatura com termopar . 20

Fig.III.5: Interligação entre o eletrômetro e um circuito TSD. 21

Fig.III.6: Amplificador de leitura de temperatura 23

Fig.III.7: Amplificador de leitura de corrente. 24

Fig.III.8: MUX: Multiplexador de entradas analógicas. 27

Fig.III.9: CA/D: Ligação ao barramento de dados do Apple (D7:0). 30

Fig.III.10: Temporizador 31

Fig.III.11: Seletor de funções 32

Fig.III.12: Acionador de carga 33

Fig.IV.1: Fluxograma do programa em BASIC para controle de temperatura e aquisição de dados 38

Fig.IV.2: Fluxograma do programa CTRL.BAS (detalhes sobre o controle de temperatura e aquisição de dados . . . 46

Fig.IV.3: Fluxogramas das rotinas em Assembly do programa CTRL.ASM. 50

Fig.V.1.a: Controle com diferentes taxas de aquecimento, resfriamento e estabilização 59

Fig.V.1.b: Ampliação da curva da Fig.V.1.a, no intervalo entre 0 e 100 minutos. 59

Fig.V.1.c: Ampliação da curva da Fig.V.1.a, no intervalo entre 100 e 230 minutos. 59

Fig.V.2.a: Aquecimento, estabilização e resfriamento senoidal 61

Fig.V.2.b: Ampliação da curva da Fig.V.2.a, no intervalo entre 0 e 150 minutos. 61

Fig.V.2.c: Ampliação da curva da Fig.V.2.a, no intervalo entre 150 e 450 minutos. 62

Fig.V.3: Aquecimento exponencial. 63

Fig.V.4: Aquecimento Logarítmico. 63

Fig.V.5: Correntes de Polarização de uma amostra de LEXAN, à temperatura constante: 70°C 64

Fig.V.6: Corrente Piroelétrica medida para uma amostra de PVDF a 50°C. 65

Fig.V.7: Correntes de Despolarização de uma amostra de PVDF/HFP, polarizada com V=2520V 66

Fig.V.8.a: Descarga TSD de uma amostra "virgem" de Mylar. . . 67

Fig.V.8.b: Segunda Descarga TSD de uma amostra de Mylar (pouco tempo após ter sido realizada a primeira. . 67

Fig.B.1: Aquecedor Nº 1 72

Fig.B.2: Aquecedor Nº 2 73

Fig.B.3.a: Aquecimento e resfriamento natural do aquecedor Nº 1 74

Fig.B.3.b: Ampliação do intervalo de aquecimento da Fig.B.3.A (intervalo entre 0 e 13 minutos). . . 74

Fig.B.4.a: Aquecimento e resfriamento natural do aquecedor Nº 2 75

Fig.B.4.b: Ampliação do intervalo de aquecimento da Fig.B.4.A (intervalo entre 0 e 15 minutos). . . 75

INDICE DE TABELAS

Tabela III.1: Seleção de funções da placa interface. 32

Tabela A.1: Resultado da análise de linearidade dos termopares do tipo J, K e T. 71

Tabela C.1: Endereçamento do Apple 76

Tabela C.2: Pinagem do conector de jogos 78

Tabela C.3: Endereçamento das chaves lógicas 78

Tabela C.4: Pinagem dos "slots" do Apple 79

SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO - IFQSC
FÍSICA

RESUMO

É descrito um sistema automatizado para a realização de medidas elétricas em materiais dielétricos. Um microcomputador tipo Apple é responsável pelo controle e programação da temperatura da amostra, aquisição dos dados experimentais e apresentação e armazenamento dos resultados. O controle de temperatura permite aquecer e resfriar amostras a taxas constantes, manter a temperatura constante, superpor a esses processos uma variação senoidal de temperatura e ainda programar aquecimentos com taxas não lineares. Por esta versatilidade, o sistema permite realizar vários tipos de medidas elétricas tais como; corrente termo estimuladas em circuito fechado e aberto, correntes de absorção e correntes piroelétricas. Mostra-se o desempenho do sistema e alguns resultados de medidas elétricas em polímeros.

ABSTRACT

We describe an automatic system for electrical measurements in dielectric samples. The system is based on an Apple-like microcomputer, responsible for controlling and programming the sample temperature, data acquisition, display and storage. The temperature control allows heating and cooling samples at fixed rates, over which a superimposed sinusoidal perturbation may be applied, and also, non linear heating rates can be generated. Because of this versatility, the system allows many types of electrical measurements, just like thermal stimulated currents, thermal stimulated discharges, absorption currents and pyroelectric currents. We show the performance of the system and some results of practical measurements in polymers.

CAPITULO I

INTRODUÇÃO

O eletreto é um dielétrico que possui a propriedade de reter, por um longo período de tempo, um excesso de cargas ou uma polarização elétrica. Esta característica, em geral, é válida sob temperaturas relativamente baixas (menor ou igual à temperatura ambiente).

Um dos interesses pelo estudo dos eletretos está na sua larga aplicação em transdutores, tais como dosímetros de radiação, microfones, teclados, sonorizadores ("buzzers"), e outros.

As atividades do Grupo de Eletretos "Prof. Bernhard Gross" estão dirigidas às pesquisas básicas e desenvolvimento de técnicas empregadas no estudo e na produção de eletretos. Em particular, tem-se interesse nas técnicas que permitem o estudo das propriedades de armazenamento e transporte de cargas elétricas em filmes de polímeros.

Para estudar as propriedades de armazenamento e transporte de cargas em eletretos muito estáveis (por exemplo, o Teflon(R) FEP), é necessário estimular a mobilidade das cargas e, uma opção é pela elevação da temperatura. Através do estímulo térmico, pode-se obter informações a respeito dos processos dipolares[1], parâmetros de armazenamento de cargas[1] e, em condições especiais, medir a constante piroelétrica[2] do material.

Há algum tempo foi desenvolvido, no Departamento de Física e Ciência dos Materiais (do Instituto de Física e Química de São Carlos - USP), um controlador programável de temperatura onde define-se, no início do processo, a temperatura máxima e a

taxa linear de aquecimento que deseja-se que a amostra acompanhe. Terminado o processo térmico, alguns pontos das curvas registradas (curvas de temperatura e corrente em função do tempo, obtidas através de um registrador XY, ligado ao sistema) eram escolhidos e inseridos no computador para um posterior processamento.

Tendo em vista as dificuldades de mudanças no controle e a utilização rotineira da técnica de medida, surgiu a idéia de desenvolver um sistema capaz de realizar o controle de temperatura de forma mais flexível, onde se pudesse obter taxas lineares ou não de aquecimento, que fornecesse as curvas de resposta (temperatura e corrente em função do tempo) e arquivos com os dados obtidos durante o processo.

Com a proliferação do uso de microcomputadores para as mais variadas aplicações e com o surgimento das novas gerações destes (16 bits), as configurações mais simplificadas (de 8 bits) tem tido seu preço reduzido cada vez mais. Alguns modelos em particular se prestam com boas vantagens para aplicações em controle de processos por terem sua arquitetura interna aberta ao interfaceamento com outros dispositivos.

Por estes fatores, resolveu-se desenvolver o novo sistema controlado por um microcomputador, tendo as seguintes características:

- realização de controle de temperatura (aquecimento e resfriamento não forçado), com taxas lineares ou não,
- leitura e armazenamento das leituras de temperatura e corrente em função do tempo,
- apresentação imediata dos resultados (numérica e graficamente), durante a execução do processo,
- boa interação com o usuário (com menu auto explicativo),

SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO - IFQSC
FÍSICA

baixo custo e que não necessite de muitos instrumentos adicionais para a realização do processo,

Para cumprir estes requisitos, utilizou-se um microcomputador comercial de 8 bits, modelo Apple II-Plus, o qual possui conectores especiais por onde pode-se acessar seus barramentos de endereços, dados e controle, facilitando o interfaceamento com equipamentos externos.

O sistema foi implementado de modo que é possível realizar o controle de temperatura de um aquecedor e ler até três entradas de sinais analógicos, mostrar as curvas de resposta (dos sinais de entrada em função do tempo) no monitor de vídeo e, posteriormente imprimir os dados e os gráficos. Os resultados são obtidos em tempo real e podem ser armazenados em discos flexíveis (disquetes) para posterior análise, que pode ser feita no Apple, ou então numa máquina mais adequada como um microcomputador da linha IBM/PC ou no computador VAX 11/780 (do Instituto de Física e Química de São Carlos), através de transferência dos arquivos de dados). Trata-se de um sistema de custo relativamente baixo, estrutura simples e altamente versátil, que desde os seus primeiros protótipos, tem sido amplamente utilizado pelos pesquisadores do grupo.

Para explicar toda a evolução deste trabalho, no capítulo II, serão abordados alguns processos elétricos que utilizam tratamento térmico e seus respectivos parâmetros envolvidos. No capítulo III será descrita a operação do sistema; como é realizado o controle de temperatura, a configuração e o funcionamento dos circuitos desenvolvidos. No capítulo IV serão descritos todos os programas desenvolvidos para controle de temperatura e aquisição de dados, como o microcomputador acessa cada bloco de circuito e como é feito o sincronismo com o tempo. No capítulo V serão apresentados resultados obtidos para alguns

dos possíveis processos que podem ser realizados com a utilização deste sistema, finalizando nos capítulos VI e VII com discussões e conclusão sobre o trabalho e sugestões para alterações que podem ser feitas futuramente.

Nos apêndices encontram-se: (A) as curvas de aquecimento e resfriamento natural dos aquecedores utilizados, (B) linearização do termopar, (C) endereços de acesso às posições especiais do Apple, (pois estes foram largamente utilizados neste sistema para acesso a todos os dispositivos externos ao microcomputador), (D) listagem dos programas (em linguagem de alto e baixo nível) desenvolvidos para os quatro tipos de controle de temperatura, realizáveis com o sistema e (E) os "layouts" das placas implementadas. Por ser um trabalho desenvolvido no Departamento de Física e envolvendo eletrônica, optou-se por incluir os apêndices, de modo a manter o trabalho bem documentado, reprodutível e facilitando qualquer alteração futura que se faça necessária.

CAPITULO II

TÉCNICAS DE PROCESSO TERMO-ESTIMULADO

II.1 - Introdução

Quando o eletreto é aquecido, consegue-se aumentar consideravelmente a condução elétrica do material[1], tornando possível o estudo de fenômenos que seriam observáveis somente no decorrer de um longo período de tempo; uma vez que sob temperaturas relativamente baixas, as cargas ou dipolos são considerados como "congelados" no interior do material.

Na literatura encontra-se várias denominações para descrever processos semelhantes. Neste trabalho, assim como no Grupo, os processos que envolvem estímulo térmico em circuito fechado serão denominados de TSC (Thermal Stimulated Current) Corrente Termo Estimulada, e os que envolvem estímulo térmico em circuito aberto são denominados de TSD (Thermal Stimulated Discharge) Descarga Termo Estimulada.

II.1.a - Equações Básicas

As amostras de dielétrico, citadas neste trabalho, são consideradas de geometria planar[*], isto é, possuem uma espessura L [cm] muito menor que a área A [cm^2] e uma permissividade igual a ϵ [F C^{-1}]. Por estas considerações, as equações serão apresentadas com dependência de uma única coordenada espacial e também em função do tempo (x,t).

As equações básicas representam as relações existentes entre a variação de carga, o campo elétrico, a polarização e a

- -

[*] OBS:- As amostras utilizadas no Grupo para estudo e análise, normalmente possuem espessura entre 10 a 30µm e área em torno de 10cm^2. Com estas dimensões, vale muito bem a aproximação para geometria planar.

corrente que circula no material. A equação de Poisson, que é a diferencial da lei de Gauss, é expressa por[1]:

$$\partial D(x,t)/\partial x = \rho(x,t) \quad [C\ cm^{-3}] \qquad (II.1)$$

onde $D(x,t)$ é o deslocamento elétrico e $\rho(x,t)$ é a densidade de carga. O deslocamento elétrico[3] $D(x,t)$, que engloba o campo elétrico $E(x,t)$ e polarização do material $P(x,t)$, é dado por:

$$D(x,t) = \epsilon\, E(x,t) + P(x,t) \quad [C\ cm^{-2}] \qquad (II.2)$$

A equação da continuidade é escrita como[1]:

$$\partial J_c(x,t)/\partial x + \partial \rho(x,t)/\partial t = \emptyset \qquad (II.3)$$

onde $J_c(x,t)$ é a densidade de corrente de condução, que corresponde ao movimento real de cargas através do volume do dielétrico[4].

A equação que representa a corrente total no interior de um dielétrico é expressa por[1]:

$$J(t) = J_c(x,t) + \partial D(x,t)/\partial t \quad [A\ cm^{-2}] \qquad (II.4)$$

onde o segundo termo é a densidade de corrente de deslocamento.

Para os dielétricos, as correntes devido a difusão dos portadores são desprezíveis comparadas com as correntes de condução e de deslocamento portanto, em geral, não são consideradas nos cálculos[4].

A densidade de corrente de condução depende do material em estudo[1,4]. Se a corrente de condução for devido ao movimento de um excesso de cargas, esta será expressa por:

$$J_c(x,t) = \mu\, \rho(x,t)\, E(x,t) \quad [A\ cm^{-2}] \qquad (II.5)$$

onde μ corresponde à mobilidade das cargas $[cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}]$ e $\rho(x,t)$ à densidade de cargas $[C\ cm^{-2}]$. Se o material for caracterizado

pela condutividade elétrica, a densidade de corrente de condução será expressa por:

$$J_c(x,t) = \sigma E(x,t) \qquad [A\ cm^{-2}] \qquad (II.6)$$

onde σ corresponde à condutividade elétrica $[\Omega^{-1}\ cm^{-1}]$.

Como a amostra de dielétrico é considerada de geometria planar, a relação entre o campo elétrico e o potencial elétrico pode ser escrita como[1]:

$$U(x,t) - U(x_o,t) = -\int_{x_o}^{x} E(x,t)\, dx \qquad [V] \qquad (II.7)$$

O potencial elétrico é uma grandeza muito útil pois é facilmente determinada experimentalmente.

A resolução destas equações dependem das condições nas quais foi realizado o experimento, da existência ou não de uma polarização e, em caso afirmativo, da dinâmica da polarização. Se existir armadilhas de cargas, deve ser descrita a equação de balanço entre cargas livres e presas. No caso de processos termo estimulados, deve-se conhecer também a dependência destes parâmetros, em função da temperatura.

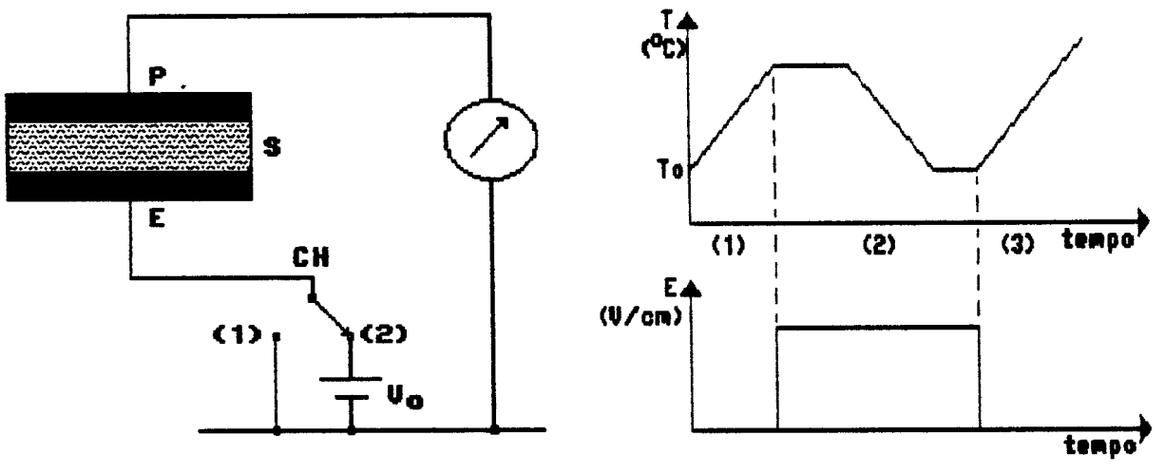
II.2 - Corrente Termo Estimulada em Circuito Fechado (TSC)

A Fig.II.1.a representa um esquema genérico para montagem de um sistema em circuito fechado[5]. O conjunto amostra/eletrodos é montado no interior de um aquecedor cuja temperatura pode ser controlada. Os eletrodos P e E são metalizados diretamente sobre as superfícies da amostra para propiciar bom contato ôhmico.

Normalmente, acrescenta-se uma fonte de alta tensão V_o entre o eletrodo inferior e o terra para polarizar a amostra no

SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO - IFQSC
FÍSICA

mesmo local onde será efetuado o processo de TSD. Os estágios deste procedimento estão apresentados na Fig.II.1.b. que mostra a variação de temperatura e a aplicação do campo externo em função do tempo[5].



P, E - eletrodos metálicos
S - amostra de eletreto
I - amperímetro

(a)

(1) - aquecimento,
(2) - polarização,
(3) - TSC

(b)

Fig. II.1: a)- Esquema para polarização e TSC.
b)- aplicação de E e T em função do tempo

A amostra aterrada (chave CH na posição "1") é aquecida até uma temperatura suficiente para aumentar a mobilidade das cargas ou possibilitar a orientação dipolar. Em seguida, é aplicada uma voltagem constante V_0 (chave CH na posição "2"); inicia-se assim, o processo de polarização da amostra. Nesta etapa a temperatura é mantida constante. Durante o resfriamento da amostra, a voltagem V_0 é mantida aplicada. Quando é atingida uma temperatura baixa (ambiente ou menor), V_0 é removida (CH de volta para a posição "1").

Um novo aquecimento desta amostra dará início ao processo de TSC em curto circuito. Nesta ocasião, o amperímetro I indicará a leitura da corrente termo-estimulada. Esta corrente, medida externamente, é a corrente total no interior do

dielétrico[5], dada pela equação (II.4) e, a partir dela pode-se obter informações a respeito do movimento das cargas através do volume do dielétrico, rotação dos dipolos, liberação das cargas das armadilhas, etc.

A condição de contorno, durante o processo de polarização (região 2 - Fig.II.1.b) é que a diferença de potencial entre P e E é a própria tensão aplicada V_0 após o que, a diferença de potencial passa a ser igual a zero pois não haverá mais tensão aplicada[5]. Portanto:

$$\int_{\emptyset}^{L} E dx = \begin{cases} V_0, \text{ durante a polarização} \\ \emptyset, \text{ após a polarização} \end{cases} \qquad (II.8)$$

II.3 - Descarga Termo Estimulada em Circuito Aberto (TSD)

II.3.a - Descrição da Montagem

Na Fig.II.2 a amostra carregada repousa sobre o eletrodo E (metalizado sobre a amostra e aterrado no circuito). O outro eletrodo P, constituido por uma placa metálica, é mantido a uma distância d ($d \gg L$, L=espessura da amostra), suficiente para que se possa considerar a amostra em circuito aberto[6].

No caso de TSD, como o sistema está configurado em circuito aberto, não existirá corrente circulando fora da amostra. O mesmo deverá acontecer em seu interior, de modo que:

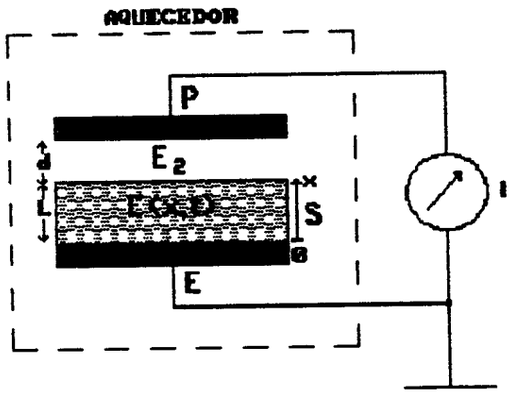
$$J(t) = \emptyset \qquad (II.9)$$

É importante notar que, mesmo com o dielétrico em circuito aberto, pode haver movimento real de cargas em seu interior ($J_c(x,t) \neq \emptyset$). Isto implicará numa diferença de potencial entre as superfícies da amostra pois, necessariamente, a corrente de

deslocamento será diferente de zero ($\partial D(x,t)\partial t \neq 0$) para que a equação (II.4) seja satisfeita. Tomando o eixo x, iniciando na superfície em contato com o eletrodo E e no sentido da espessura da amostra, o potencial pode ser escrito como:

$$V(t) = \int_0^L E(x,t)\, dx \qquad [V] \qquad (II.10)$$

Nesta equação está implícito que o campo externo ao dielétrico é nulo. Na realidade, a distância d (espessura do "gap" de ar) na montagem TSD é mantida de modo que exista um campo elétrico externo $E_2(t)$, bem menor que o campo interno à amostra. Por $E_2(t)$ ser muito pequeno, este será desprezado na determinação do potencial, embora ele seja fundamental para a existência da corrente de TSD no circuito externo.



P, E - eletrodos,

d - espessura do "gap" de ar,

L - espessura da amostra,

S - amostra de eletreto,

E(x,t) - campo no interior de S,

$E_2(t)$ - campo no "gap" de ar.

Figura II.2 - Sistema de TSD com medida de carga e corrente

II.3.b - Corrente Medida no Circuito Externo

Como a amostra está inicialmente carregada, existirá um campo elétrico E(x,t) em seu interior e um campo $E_2(t)$ no "gap" de ar, em sentido oposto[7].

Com o aquecimento da amostra, cargas começam a se mover no material ou são injetadas do eletrodo inferior E para o

dielétrico (não ocorre transferência ou troca de cargas entre os eletrodos). A equação que descreve a densidade de carga induzida no eletrodo P é[7]:

$$\sigma_p(t) = - \epsilon_o E_2(t) \quad [C/cm^{-2}] \qquad (II.11)$$

onde $E_2(t)$ é o campo no "gap" de ar. A corrente medida no circuito externo é:

$$I(t) = - A \, d\sigma_p(t)/dt \quad [A] \qquad (II.12)$$

Aplicando-se a lei de Kirchoff ao circuito da Fig.II.2, tem-se:

$$\int_{\emptyset}^{L} E(x,t) \, dx + d \, E_2(t) = \emptyset \qquad (II.13)$$

Como não se conhece o campo $E(x,t)$ no interior do dielétrico, usa-se o artifício de definir uma densidade superficial de carga equivalente $\bar{\sigma}(t)$[7] $[C/cm^{-2}]$, a qual colocada na superfície da amostra, produz o mesmo campo elétrico e potencial externos que a distribuição de carga real do dielétrico produziria. Ela é expressa por[7]:

$$\bar{\sigma}(t) = \sigma(t) + 1/L \int_{\emptyset}^{L} x \, \rho(x,t) \, dx \qquad (II.14)$$

Desta maneira, pode-se introduzir o campo $E_1(t)$ no interior do dielétrico e aplicando a lei de Gauss na superfície da amostra, tem-se que:

$$\bar{\sigma}(t) = \epsilon_o E_2(t) - \epsilon E_1(t) \qquad (II.15)$$

de (II.13), (II.14) e (II.15) obtem-se que:

$$E_2(t) = (L \, \bar{\sigma}(t) \, d / \epsilon) / (L \, \epsilon_o / \epsilon + d) \qquad (II.16)$$

onde

$$\bar{\sigma}(t)\ L\ /\ \epsilon = V(t) \qquad (II.17)$$

é o potencial na superfície da amostra (potencial de superfície).

A partir das equações (II.11), (II.12) e (II.16), a equação da corrente medida pode ser reescrita como:

$$I(t) = C_e\ dV(t)/dt \qquad (II.18)$$

que corresponde à corrente medida pelo amperímetro ligado ao eletrodo P (Fig.II.2), onde C_e é a capacitância total do conjunto eletrodos/amostra e é dada por:

$$1/Ce = (\ 1\ /\ C_s + 1\ /\ C_g\ ) \qquad (II.19)$$

onde C_s a capacitância da amostra e C_g a capacitância do "gap" de ar. Como normalmente $C_s \gg C_g$, tem-se que:

$$C_e \approx C_g \qquad (II.20)$$

Se o aquecimento for linear no tempo,

$$T(t) = To + kt \qquad (II.21)$$

onde To é a temperatura inicial [°C] e k é a razão de aquecimento [°C/min], pode-se fazer a conversão de variável de tempo para temperatura. A corrente passa a ser expressa por:

$$I(T) = C_g\ k\ dV(T)/dT \qquad (II.22)$$

que corresponde à corrente medida pelo amperímetro.

Uma variação deste método, consiste em se ligar, ao circuito da Fig.II.2, um medidor de carga Q. Com esta configuração, pode-se medir a carga e a corrente em função da temperatura. A integral da I(T) deve corresponder à carga medida. Este método também é utilizado para calibração do sistema[8]

(calibração de C_g onde, na referência citada, foram utilizadas amostras de Mylar$^{(R)}$).

II.4 - Corrente Piroelétrica

Piroeletricidade é a propriedade que alguns dielétricos possuem que, quando submetidos a variação de temperatura, fornecem uma corrente proporcional a esta variação térmica.

Para materiais que apresentam um comportamento piroelétrico, pode-se separar as correntes piroelétricas das não piroelétricas utilizando um aquecimento oscilante sobre um determinado valor de temperatura. Este procedimento é válido, desde que as variações das correntes não piroelétricas sejam muito mais lentas que as piroelétricas. A corrente não piroelétrica deverá desaparecer após o primeiro ciclo de variação de temperatura e, nos ciclos seguintes, pode-se medir a corrente piroelétrica somente. Se o aquecimento for da forma:

$$T(t) = To + A\,sen(wt) \quad [°C] \qquad (II.23)$$

onde To é a temperatura inicial do processo, A a amplitude da senóide de frequência angular w, a corrente piroelétrica pode ser expressa por:

$$i_{\pi} = S\ p\ dT/dt = S\ p\ wA\cos(wt) \quad [A] \qquad (II.24)$$

onde S é a área da amostra [cm^2] e p [$C\ cm^{-2}\ K^{-1}$] é o coeficiente piroelétrico.

Uma vez confirmado o comportamento da corrente medida (proporcional à derivada da temperatura), pode-se obter o coeficiente piroelétrico do material, através da equação (II.24).

II.5 - Aquecimentos Não Lineares

A equação que descreve a corrente termicamente estimulada em curto circuito, no caso de um material polar que obedece a equação de Debye ($dP/dt = -P/\tau$), com um tempo de relaxação τ, obedecendo a equação de Arrhenius ($\tau = \tau_o\, e^{U/kT}$), é escrita como[9]:

$$J(t) = -\, P_o/\tau_o\, e^{-U/kT} \exp\left[-\, 1/\tau_o \int_{\emptyset}^{t} e^{-U/kT}\, dt \right] \qquad (II.25)$$

onde P_o é a polarização inicial, U é a energia de ativação dos dipolos e τ_o é o tempo natural de relaxação. O parâmetro t representa o tempo e T a temperatura.

Como a corrente J(t) depende da temperatura e do tempo, e a temperatura é função do tempo, deve-se incluir, na equação (II.25), a temperatura como função do tempo. No caso de aquecimento linear ($T = T_o + \beta t$, onde β é a razão de aquecimento), a inclusão da temperatura em função do tempo na equação (II.25) fica:

$$J(T) = -\, P_o/\tau_o\, e^{-U/kT} \exp\left[-\, 1/\tau_o\beta \int_{T_o}^{T} e^{-U/kT}\, dT \right] \qquad (II.26)$$

Deve-se notar que, mesmo neste caso simples, a resolução da integral não é tão trivial (é feita por aproximação em série).

Em várias situações diferentes do modelo acima, é conhecido que a corrente TSC pode ser escrita, em geral como:

$$J(T) = K_1\, f_1(T) \exp\left[-\, K_2 \int_{T_o}^{T} f_2(T)\, dT \right] \qquad (II.27)$$

SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO - IFQSC
FÍSICA

onde as funções $f_1(T)$ e $f_2(T)$ dependem dos processos físicos envolvidos no material (por exemplo, captura e liberação de cargas de armadilhas).

Com o objetivo de facilitar a integração do último termo das equações, foram implementados também aquecimentos não lineares com o tempo. As funções que serão usadas neste trabalho (exponencial e logarítmica), têm apenas o objetivo de verificar se o sistema de controle pode operar quando programado para aquecimentos não lineares.

A escolha da função adequada para cada tipo de amostra, que permitiria realizar as integrações, não será analisada aqui e deverá ser objetivo da continuação deste trabalho.

II.5.1 - Subida Inicial

A equação (II.26) fornece uma corrente cujo comportamento se assemelha a uma "gaussiana". Para um valor de temperatura T não muito maior que T_o, o valor da integral (da mesma equação) é muito baixo e o comportamento da corrente fica dependente praticamente só do termo inicial, isto é:

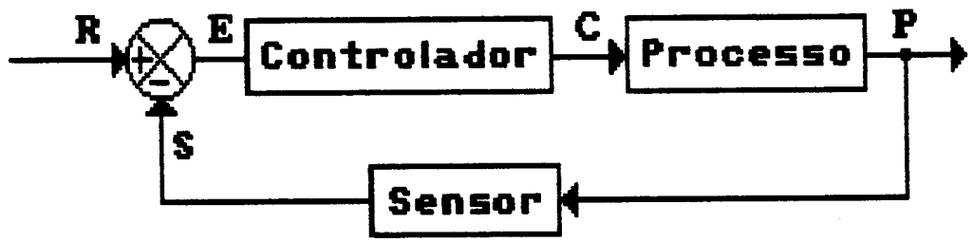
$$J(T) \simeq - P_o/\tau \; e^{-U/kT} \qquad \text{(II.28)}$$

Traçando uma curva do logaritmo natural da corrente em função de 1/kT linear, obtem-se uma reta cuja inclinação corresponde à energia de ativação do material[5]. Este método de medida do tempo de relaxação tem sido exaustivamente utilizado, fornecendo resultados compatíveis com os valores calculados usando o modelo de condução no material.

CAPITULO III

SISTEMA DE CONTROLE E AQUISIÇAO DE DADOS

Um sistema de controle automático é aquele onde a saída do processo tem efeito direto sobre a ação de controle, através da realimentação deste sinal para comparação com uma referência desejada.



R - sinal de Referência,
S - saída do sensor,
C - sinal de controle.
P - saída do processo,
E - sinal de erro (R-S),

Fig.III.1 - Sistema de Controle Automático

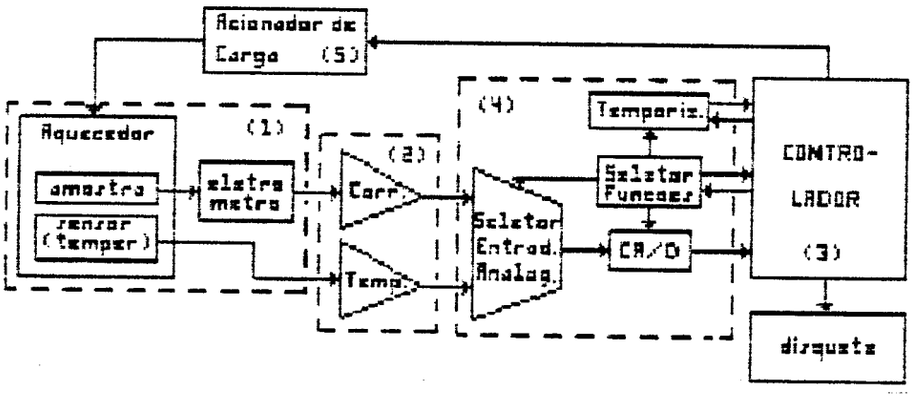
Na Fig.III.1, o controle do processo é feito pelo sinal "C" (saída do controlador). A saída do Processo "P" é medida, convertida para "S" e comparada com um sinal de referência "R". No caso de "S" ser diferente do valor de referência "R", o controlador tende a compensar esta diferença através do sinal de controle "C" de modo a equilíbrar o processo ("P" proporcional a "R").

Dependendo da aplicação, o sinal de referência pode ser fixo ou variar durante o processo. No caso deste projeto, "R" é uma função dependente do tempo, gerada no microcomputador que pode ser da forma linear, senoidal, exponencial ou logarítmica. Este sinal é comparado com o sinal "S" que é a saída do sensor de temperatura (termopar). Se "R" for maior que "S", "E" será positivo, o que fará com que o controlador (microcomputador)

envie o sinal de liberação de potência "C" para o processo (aquecedor), tentando aumentar "P" (temperatura) a um valor igual a "R".

Toda as sequências de operações necessárias são realizadas pelo microcomputador em tempo real, auxiliado por circuitos e programas especialmente descritos para esta finalidade.

Além do controle da temperatura do aquecedor (temperatura da amostra de dielétrico), é feita a leitura da corrente da amostra no sistema. Estes valores são obtidos sincronamente e armazenados em disquetes. A Fig.III.2 representa o diagrama de blocos do sistema, a partir dos quais será explicado o funcionamento do processo.



(1) - Aquecimento e Medida de Parâmetros (Temperatura e Corrente),
(2) - Amplificadores (de Medida de Temperatura e Corrente),
(3) - Controlador de Temperatura e Leitura dos Parâmetros,
(4) - Placa de Interface,
(5) - Acionador de Carga.

Fig.III.2 - Diagrama em Blocos do Sistema de Controle e Aquisição de Dados.

III.1 - AQUECIMENTO E MEDIDA DOS PARAMETROS DA AMOSTRA

O aquecimento e as medidas dos parâmetros do sistema estão apresentados no bloco 1 da Fig.III.2, que é composto pelo

aquecedor (onde é alojada a amostra e o sensor), o sensor de temperatura e o medidor de corrente induzida pela amostra.

III.1.a - O Aquecedor

A condutibilidade térmica de um material é a velocidade com a qual ele transporta energia térmica de um ponto de temperatura mais alta para outro de temperatura mais baixa. Seja "dx" a distância entre os pontos cuja diferença de temperatura é "dT", temos que a velocidade de propagação num determinado meio é dada por[18]:

$$v = - k\, dT/dx \quad [\text{ergs cm}^{-2}\ \text{seg}^{-1}] \qquad \text{(III.1)}$$

onde "k" é a condutividade calorífica e depende exclusivamente do meio condutor de calor. No nosso caso este meio é o ar (que por sua vez é um mal condutor de calor).

Pela expressão (III.1), observa-se que, para uma determinada diferença de temperatura, quanto maior for a distância entre os pontos, menor será a velocidade de propagação e consequentemente, maior será o tempo necessário para o aquecimento. Extendendo este raciocínio, pode-se concluir que, quanto maior o aquecedor (maior distância entre as fontes de calor e a amostra), maior será o tempo de aquecimento. A este atraso no acompanhamento de temperatura denominamos de "inércia térmica". Por este motivo, utilizando-se estufas comerciais de uso geral de grande porte, só é possível realizar aquecimentos lineares com taxas de aquecimento muito baixas. Taxas elevadas fazem com que a temperatura da amostra não consiga acompanhar ao incremento de temperatura programado.

Como deseja-se realizar também controles não lineares, optou-se por ajustar o sistema apenas para os pequenos aquecedores (disponíveis no Grupo). Nestes aquecedores, embora a

potência seja menor, a distância entre a amostra e as resistências aquecedoras é muito menor, o que faz com que se melhore o desempenho sobre o controle de temperatura da amostra.

No Apêndice (A) são apresentadas as dimensões e as respectivas curvas de aquecimento e de decaimento de temperatura, a partir da temperatura ambiente, para os aquecedores utilizados. Por estas curvas, pode-se observar a máxima taxa de aquecimento e a mínima de resfriamento que se pode controlar (menor inclinação da curva).

Através de análise da potência e da inércia térmica destas pequenas estufas, verificou-se que pode-se realizar aquecimentos com taxas superiores a 10°C/min e resfriamentos, até a temperatura ambiente, com taxas superiores ou iguais a 0,4°C/min (no caso da estufa mais lenta, vide Apêndice A).

A amostra a ser estudada (Fig.III.3) é fixada num bastidor, que por sua vez, é alojado num suporte de modo a manter o isolamento elétrico entre a amostra e o aquecedor. Neste suporte é fixado o termopar, tomando-se o cuidado para manter sua junção sem contato físico com as outras peças.

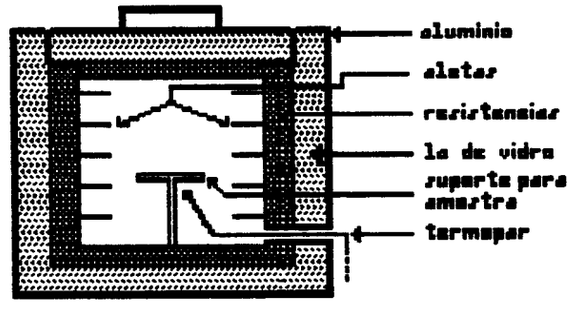


Fig.III.3 - Aquecedor: corte lateral

III.1.b - Medida de Temperatura

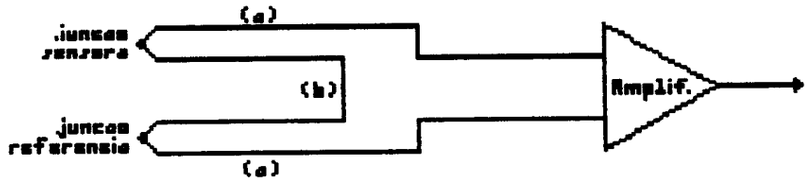
Para a conversão da temperatura da amostra em uma grandeza elétrica, utilizamos como sensor um termopar. Os termopares caracterizam-se por apresentar um determinado valor de

diferença de potencial entre seus terminais, em função da temperatura na qual se encontra sua junção.

O funcionamento dos termopares é baseado no "Efeito Seebeck", onde uma junção de dois metais (ou ligas) diferentes produz um valor de tensão proporcional à temperatura na qual se encontra. Por este mesmo princípio, quando se conecta as outras duas extremidades dos fios do termopar (bornes ou qualquer outro conector), forma-se outras junções de metais diferentes, que poderão alterar o valor medido. Para compensá-las, é utilizada mais uma junção (junção de referência - Fig.III.4) de modo que as "junções" criadas pela conecção com o amplificador sejam do mesmo material e, a diferença de potencial gerada por uma seja cancelada pela outra. Desta forma, o sinal medido será proporcional à diferença de temperatura entre as duas junções. Se esta segunda junção (junção de referência) ficar ao ar livre, detectará as variações de temperatura do meio ambiente, acrescentando erro na medida. Para evitar tal problema, é conveniente que a junção de referência seja mantida sob temperatura fixa de modo que a variação medida seja correspondente à variação de temperatura da outra junção (junção sensora). No caso deste projeto, a referência é de 0°C (ponta-fria) e a medida é relativa somente à temperatura da amostra.

Existem vários tipos de termopares e, após uma análise de linearidade entre os termopares dos tipos J (de Ferro x Constantan), K (de Chromel x Alumel) e T (de Cobre x Constantan), optou-se por trabalhar com o de "chromel x alumel" por apresentar a resposta mais linear de tensão em função da temperatura (vide Apêndice B), no intervalo de temperatura em que normalmente operamos (temperatura positiva até 300°C). Considerando linear a resposta do termopar, acrescenta-se um erro de 0,4% na conversão de graus Celsius para volts.

A temperatura é medida continuamente no tempo e enviada para um amplificador (bloco 2, Fig.III.2), para posteriormente ser analisada pelo microcomputador.



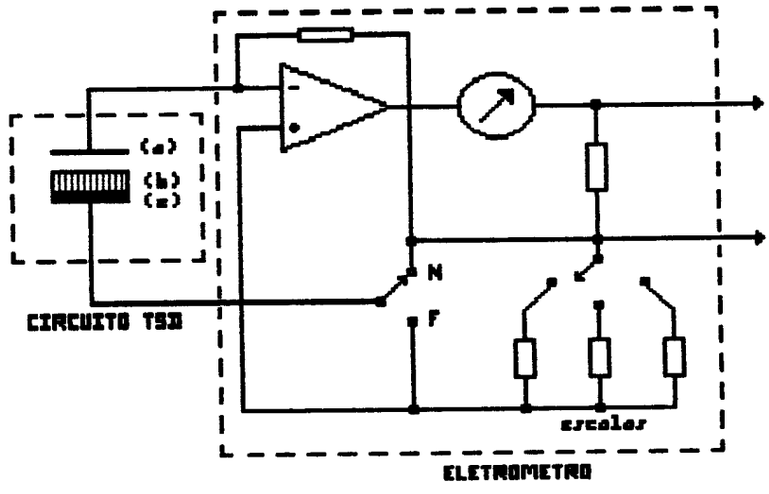
(a) e (b) correspondem aos diferentes metais (ou ligas) que compõem o termopar.

Fig.III.4 - Montagem para medida de Temperatura com Termopar.

III.1.c - Medida de Corrente

A corrente induzida no circuito pelas amostras é da ordem de dezenas de picoamperes. Para leitura de tal grandeza, deve-se utilizar amperímetros de altíssima sensibilidade. O instrumento que melhor se adapta a este tipo de medida é o eletrômetro, com o qual pode-se medir correntes de até 10 fA, com precisão de 0,1%.

No painel traseiro do eletrômetro, existe uma saída



(a) e (c) - eletrodos superior e inferior, respectivamente
(b) - amostra de eletreto

Fig.III.5 - Interligação entre o Eletrômetro e um Circuito TSD

auxiliar em tensão, cujo nível varia de acordo com a leitura da grandeza medida e esta variação é de até 3V (do mínimo ao máximo de uma mesma escala do eletrômetro). Este sinal é enviado para um amplificador (bloco 2, Fig.III.2) para posteriormente ser armazenado pelo microcomputador. A Fig.III.5 representa o esquema de ligação do eletrômetro com o sistema de TSD.

III.2 - AMPLIFICADORES

Tanto a medida de temperatura como a de corrente são amplificadas antes de serem enviadas para conversão da forma analógica para a digital. O ganho dos respectivos amplificadores foi calculado de modo que a amplificação da leitura máxima fosse menor que 5V. No caso de leitura de corrente, tomou-se o cuidado de garantir que este valor não fosse negativo pois o conversor analógico/digital utilizado está configurado para operar com tensões positivas.

III.2.a - Amplificador de Leitura de Temperatura

A medida de temperatura através do termopar fornece como resposta um sinal analógico de alguns milivolts. Para as aplicações deste trabalho, a faixa de variação de temperatura varia da temperatura ambiente até 300°C. Este valor, medido com um termopar do tipo K, fornece uma tensão positiva até 12,21mV.

Para que este sinal esteja na faixa de tensão em que o microcomputador opera (5V), o ganho do amplificador deve ser alto (algumas centenas de vezes). O Amplificador de Leitura de Temperatura (Fig.III.6) foi implementado em dois estágios: CI01 e CI02 (amplificadores operacionais - LM308) e alguns resistores, numa placa de circuito impresso, juntamente com a sua fonte de alimentação de ±5VDC. No painel frontal encontram-se, os

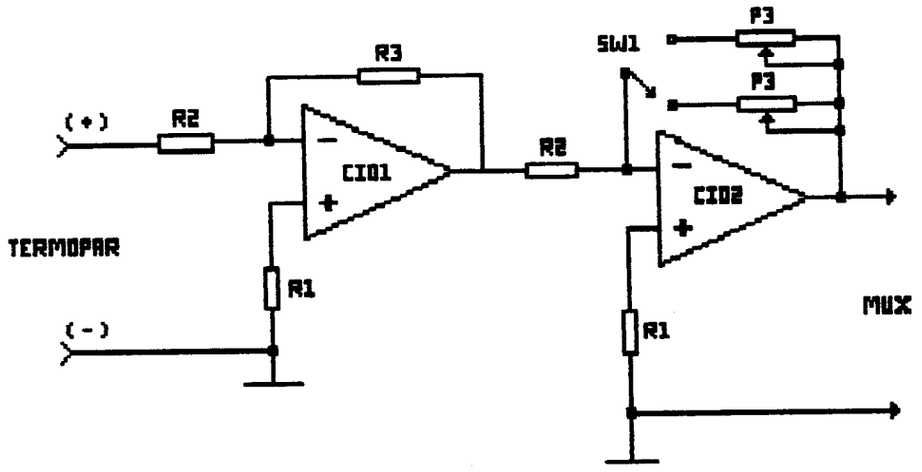


Fig.III.6 - Amplificador de Leitura de Temperatura

conectores que fazem a ligação dos sinais do termopar, do eletrômetro e sinais que serão enviados para a placa interface, uma chave de duas posições (SW1) que seleciona o ganho de 600 vezes (para medidas até 200°C) ou de 400 vezes (para medidas até 300°C), e o acesso a todos os potenciômetros de ajuste de ganho e de compensação de "offset".

A saída do amplificador é enviada para a Placa Interface (interface entre o microcomputador e demais circuitos).

III.2.b - Amplificador de Leitura de Corrente

Dependendo do material em análise, a corrente induzida na amostra, pode inverter a polaridade durante o processo de tratamento térmico ou mesmo ter polaridade negativa durante todo o tempo. Da mesma forma, a tensão da saída auxiliar do eletrômetro (utilizada na leitura de corrente) também tem sua polaridade invertida ou negativa, de acordo com o primeiro e segundo caso, respectivamente. Como este sinal de tensão é convertido da forma analógica para digital, antes de ser lido pelo microcomputador e, como o conversor opera exclusivamente com sinais positivos, o amplificador deve estar ajustado de modo que sua saída seja sempre positiva, independente do sinal que está

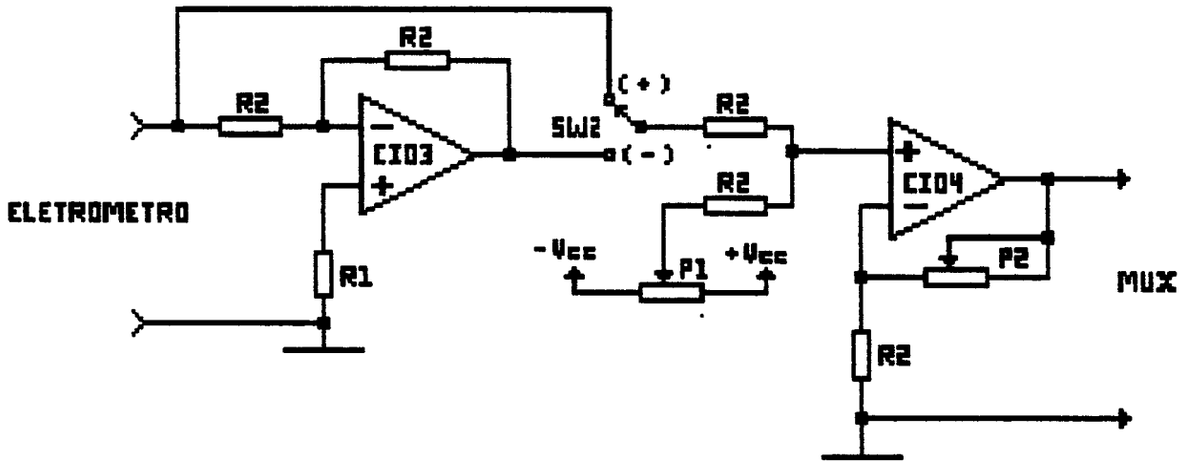


Fig.III.7 - Amplificador de Leitura de Corrente

sendo medido.

Um inversor (CIØ3) é utilizado somente quando o sinal de leitura de corrente é negativo (chave SW2 na posição (-)). Um potenciômetro (P1, Fig.III.7) altera o nível "DC" da saída do amplificador (ajuste de nível zero) o segundo estágio é um amplificador (CIØ4) que foi implementado de modo a possibilitar a alteração da polaridade do sinal de saída através de uma chave de duas posições (SW2, Fig.III.7).

O Amplificador de Leitura de Corrente (Fig.III.7) foi montado em dois estágios com amplificadores operacionais (CIØ3 e CIØ4 - LM3Ø8) e alguns resistores, numa placa de circuito impresso, juntamente com sua fonte de alimentação de ±5VDC. No painel frontal encontram-se o conector do tipo "BNC" no qual é ligado o cabo coaxial que vem da saída do eletrômetro, a chave seletora de polaridade e todos os potenciômetros de calibração.

O sinal de saída do Amplificador de Leitura de Corrente é enviado para a Placa Interface.

III.3 - CONTROLADOR (MICROCOMPUTADOR)

Todas as decisões a serem tomadas durante o processo de

controle, o armazenamento de informações e a interação do usuário com o sistema, são realizadas por um microcomputador. Utilizamos neste projeto um microcomputador comercial Apple II-Plus, de fabricação nacional, com configuração mínima de 48 Kbytes de memória RAM, um acionador de disquetes de 5¼ polegadas e um monitor de vídeo. Dentre os microcomputadores de 8 bits existentes no mercado, o Apple é um dos mais versáteis, pois possui uma boa relação custo/benefício, possui um grande número de aplicativos e apresenta muitas facilidades para conexão com dispositivos periféricos externos. O Apple é montado num gabinete único contendo o teclado e uma placa que incorpora o microprocessador, as memórias, saída de vídeo, oito "slots" por onde pode-se ligar acionadores de disquete, impressoras (e demais periféricos) e um conector de jogos".

Os "slots" são conectores de 50 pinos nos quais são ligadas placas de interface do Apple com outros dispositivos, pois através deles pode-se acessar o relógio interno e os barramentos de dados, endereço e controle do Apple. Como utilizamos o "slot2" para conectar a Placa Interface, a habilitação do nosso sistema é feita acessando-se uma das posições de memória contida no intervalo de endereçamento deste "slot" (vide Apêndice C). Deste modo, mesmo sem utilizar o sistema de controle e aquisição, a Placa Interface pode ficar instalada no "slot", pois estará desabilitada e seus barramentos de comunicação com o microcomputador ficarão em alta-impedância (enquanto não for acessada nenhuma posição de endereço do seu intervalo de endereços). A pinagem completa dos "slots" e os endereços de acesso, estão detalhados no Apêndice C.

O "conector de jogos" é um soquete de 16 pinos onde normalmente conecta-se "joysticks". Através dele têm-se acesso a quatro chaves lógicas[10] (CL3:0, vide Apêndice C), cujo estado

(nível lógico) pode ser alterado através de acessos por "software" a seus respectivos endereços. Uma vez definido o estado da chave, este será mantido até que seja feito um acesso ao seu endereço de estado complementar (nível baixo, se estiver em nível alto, ou vice-versa). Estas chaves são utilizadas para seleção da entrada de sinal a ser convertido para a forma digital (temperatura e corrente) e para controlar a potência do aquecedor. O endereçamento destas posições especiais está descrito nos algoritmos do programa em linguagem de máquina (capítulo IV). Maiores detalhes sobre a pinagem (posição e função) e endereçamento dos "slots" e das chaves pode ser obtidos através do Apêndice C.

III.4 - PLACA INTERFACE

A placa que interfaceia todos os circuitos com o Apple é composta por blocos que efetuam funções distintas. A sequência de execução é controlada por "software" (descrito no próximo capítulo). As funções dos blocos são:

III.4.a - Multiplexador de Entradas Analógicas

Para os dois sinais analógicos a serem convertidos é utilizado apenas um conversor analógico/digital. A seleção de qual dos sinais será convertido é feita através do Multiplexador de Entradas MUX (Fig.III.8).

O MUX foi implementado utilizando-se um conjunto de três chaves analógicas (CH1, CH2 e CH3 do CIØ5 - CD4Ø53), um amplificador operacional (CIØ6 - LM3Ø8) na configuração de somador e alguns resistores. Cada uma destas chaves possui duas posições, onde numa delas está ligada uma das saídas dos amplificadores (de temperatura: CH1 ou de corrente: CH2) e a

SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO - IFQSC
FÍSICA

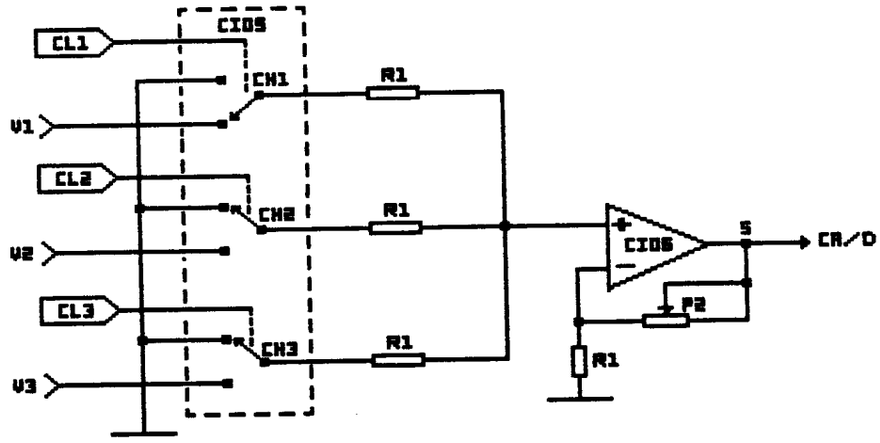


Fig.III.8 - MUX: Multiplexador de Entradas Analógicas

outra ligada ao terra do circuito. A chave CH3 não é utilizada atualmente, entretanto suas entradas estão definidas como as outras duas ou seja, uma posição liberada para entrada de sinal analógico externo e a outra aterrada, para eventual expansão de capacidade da placa sem alteração de "hardware". As saídas das três chaves são ligadas ao amplificador somador.

O Apple possui quatro chaves lógicas (CL3:Ø), das quais três são utilizadas para controlar a posição das chaves analógicas (CH3:1). Quando deseja-se ler o sinal V1 (Fig.III.8), a chave CH1 é ligada a esta entrada e CH2 e CH3 são ligadas ao terra. Isto é feito através do programa de controle, colocando-se CL1 em nível alto ("1") e CL2 e CL3 em nível baixo ("Ø"). A operação é análoga para leitura das outras entradas.

O CIØ6 é um amplificador implementado na configuração de somador. As suas três entradas são ligados os sinais de saída de cada chave CH. Como para leitura de um sinal as demais entradas são iguais a zero, na saída "S" do somador tem-se:

$$S = 2 \times [\ (\text{sinal selecionado}) + Ø + Ø\ ] \qquad (III.2)$$

A saída "S" do somador apresenta-se multiplicada por dois porque o Conversor Analógico/Digital foi implementado de

modo a realizar conversões de sinais variando entre Ø e 1ØV e as saídas dos estágios amplificadores anteriores (de temperatura e de corrente) fornecem sinais de até 5V.

III.4.b - Conversor Analógico/Digital

Os sinais de tensão proporcional à temperatura e à corrente da amostra são valores analógicos que variam continuamente no tempo. Para que estes valores possam ser interpretados pelo Apple, são convertidos para a forma digital através de um conversor analógico/digital CA/D de 1Ø bits (CIØ7 - AD573) e enviados para o barramento de dados do Apple através de um conjunto de oito "buffers" com saídas tri-estado (CIØ8 - 74LS244) e duas portas "buffers" (G1 e G2 do CIØ9 - 74LS125), conforme a Fig.III.9. Uma outra porta "buffer" (G4 do CIØ9) é utilizada na habilitação de início de conversão.

A conversão em 1Ø bits proporciona 1Ø24 palavras digitais ou 1Ø24 níveis distintos. Como o CA/D foi implementado para receber sinais analógicos de Ø a 1ØV, cada nível corresponde a 9,77mV. Para o Amplificador de Medida de Temperatura, este nível discreto corresponde a Ø,3°C e Ø,19°C (amplificador com ganho de 41Ø e 615 vezes, respectivamente) e para o de Medida de Corrente corresponde a 9,8fA e 29,3fA (escala de 1ØpA e 3ØpA, respectivamente). Qualquer variação de temperatura ou corrente menor que os valores acima, não podem ser detectados pelo Apple. Isto acrescenta um certo erro (erro de quantização) na medida, uma vez que uma "faixa de valores" é representada por "um único código" (valor digital da conversão). Quanto maior o número de bits, menor o erro de quantização. Mas por outro lado, quanto maior o número de bits de um conversor (circuito integrado), mais caro ele será. Desta forma, deve-se sempre ponderar o custo com a precisão desejada, antes de completar um projeto. O erro de

quantização corresponde à metade de valor do intervalo entre dois níveis discretos que, no caso de conversão em 10 bits, corresponde a 4,88mV ou 0,05% sobre o fundo de escala da grandeza medida.

Como as transições destes sinais analógicos são muito mais lentas que o tempo de conversão (20us), não foi necessário a utilização de amplificadores de amostragem e retenção ("Sample and Hold") e a saída do MUX é ligada direto à entrada do CA/D.

A leitura da temperatura e da corrente estão sempre disponíveis nas entradas do MUX para o CA/D. O microcomputador habilita ou não a conversão da corrente lida de acordo com o intervalo de tempo definido através de "software". Devido aos pulsos de sincronismo do Temporizador, este intervalo será sempre um múltiplo de 250 ms.

Após a conversão do sinal analógico, a palavra digital correspondente é enviada para o barramento de dados do microcomputador através dos "buffers". As saídas do CA/D já são tri-estado, entretanto, como a forma de saída dos dados é diferente da que utilizamos (libera separadamente os 8 bits mais significativos - MSB e depois os outros 2 menos significativos - LSB, ideal quando se quer desprezar os 2 LSB), tivemos que ligá-las aos "buffers". Através dos "buffers", todos os bits convertidos ficam disponíveis, entretanto fazemos a leitura dos 2 bits MSB e dos 8 LSB separadamente e montamos uma palavra de 2 bytes (com as duas leituras), sem necessidade de deslocamentos laterais dos bits (que seria necessário para a forma de saída do CA/D). Como o barramento de dados é bidirecional (o Apple recebe e transmite os dados pelo mesmo barramento), para proteção dos "buffers" suas saídas são colocadas em alta impedância, enquanto o Apple não estiver recebendo o sinal convertido. Isto é feito através do Decodificador de Funções.

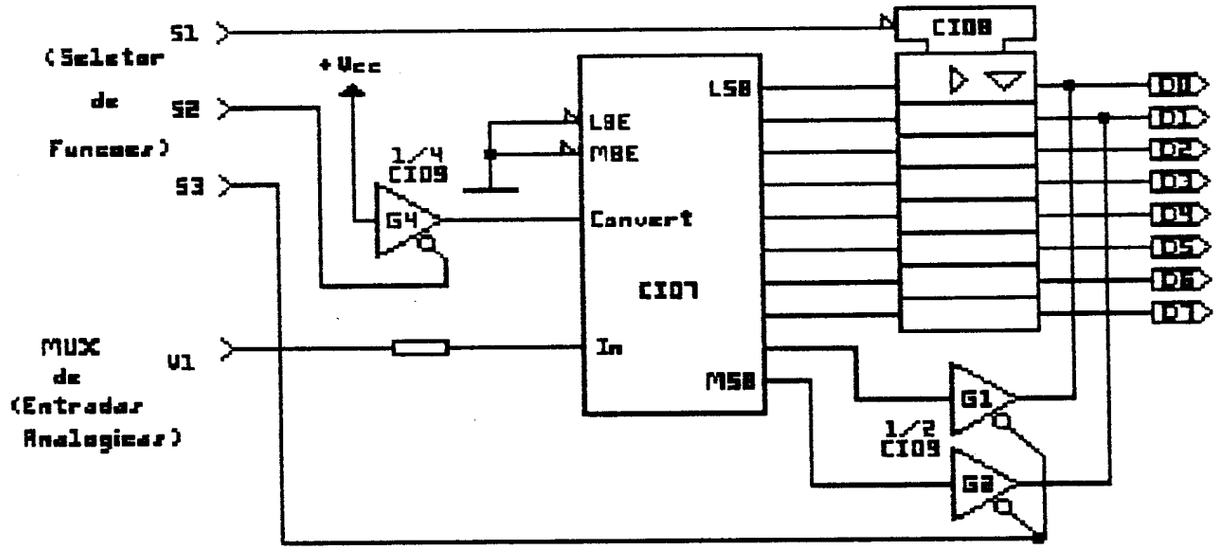


Fig.III.9 - CA/D: Ligação ao Barramento de Dados do Apple (D7:Ø)

III.4.c - Temporizador

Como as medidas devem ser realizadas simultaneamente e observado o instante de obtenção dos dados, foi implementado um temporizador que define o instante no qual deve converter as leituras e controlar a potência de aquecimento. A geração dos pulsos de sincronismo com o tempo real é feita fazendo a saída de relógio do Apple ($Ø_0$=1,Ø24 MHz) passar por uma sequência de contadores (Fig.III.1Ø) de modo a fornecer um pulso a cada 256ØØØ pulsos de relógio, resultando num pulso de período de 25Øms (ou 4 Hz de frequência). A sequência de contadores foi implementada utilizando-se três contadores decádicos (CI1Ø, CI11 e CI12 - 74LS9Ø contadores decádicos) e um contador binário (CI13 - CD4Ø4Ø; selecionando-se a contagem para 256 pulsos). Uma porta "buffer" (G3 do CIØ9 - 74LS125) libera a saída de pulsos quando o microcomputador deseja ler o relógio.

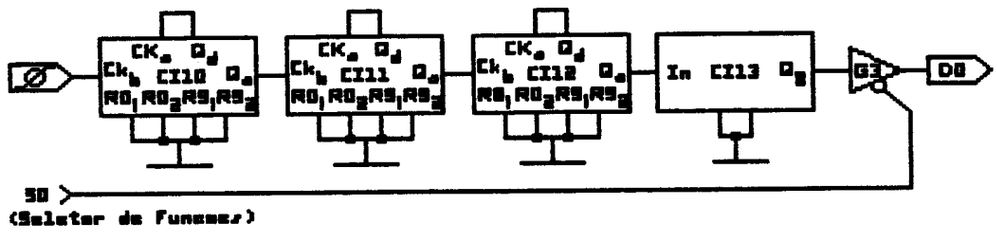
O programa espera pela transição de nível baixo para alto do pulso, após o que habilita a conversão analógica/digital, realiza o controle de temperatura e armazena o valor lido.

Pelos componentes utilizados, o circuito Temporizador

poderia fornecer outros valores de relógio. Entretanto depois de alguns testes com períodos diferentes, fixou-se em 250ms porque valores menores comprometiam o tempo de aquisição e controle e tempos maiores provocavam oscilações maiores sobre a temperatura controlada (por ficar muito tempo desligada, até o controle seguinte).

De acordo com o período dos pulsos do temporizador, o menor intervalo de tempo entre os pontos (temperatura ou corrente) é de 250ms e o maior depende do valor previamente definido pelo operador do sistema, antes de iniciar o processo. Em outras palavras, independentemente do intervalo de aquisição de dados, o intervalo de leitura de temperatura será sempre de 250ms. Já o armazenamento deste valor e do valor da corrente nos respectivos arquivos de dados depende do intervalo de aquisição definido. Devido a sua função, a partir de agora chamaremos este período de 250ms de "ciclo de controle".

A vantagem de se armazenar menos pontos do que o total obtido está no fato de que, como o tempo de realização dos processos é razoavelmente grande (dezenas de minutos, pelo menos), um número elevado de pontos exigiria um bloco de memória maior e o posterior processamento dos resultados também seria retardado. Como as transições de temperatura e corrente são lentas, esta redução no número de pontos de amostragem não comprometerá o formato final da curva obtida.



período do sinal de saída (ligado a "D0") = 250ms

Fig.III.10 - Temporizador

III.4.d - Seletor de Funções

Todas as interações entre o microcomputador e os circuitos descritos anteriormente são realizadas com o auxílio de um Seletor de Funções (Fig.III.11), implementado com um decodoficador de 3 para 8 linhas (CI14 - 74LS138).

O Seletor é habilitado pelo programa controlador quando a placa está conectada no "slot 2", ativando a linha de habilitação deste "slot" (DS=Ø). A seleção da função é realizada pelo acesso aos dois bits menos significativos de endereço do Apple, resultando na Tabela III.1[1Ø].

Tabela III.1: Seleção de Funções da Placa Interface

A1	AØ	Função
Ø	Ø	leitura do Temporizador
Ø	1	início de conversão
1	Ø	libera os 8 LSB convertidos
1	1	libera os 2 MSB convertidos

Estas "funções" correspondem às saídas Si (i=Ø,3) do CI14 e são ligadas às entradas de habilitação das respectivas portas "buffers" (esquematizadas na Fig.III.9 e Fig.III.1Ø).

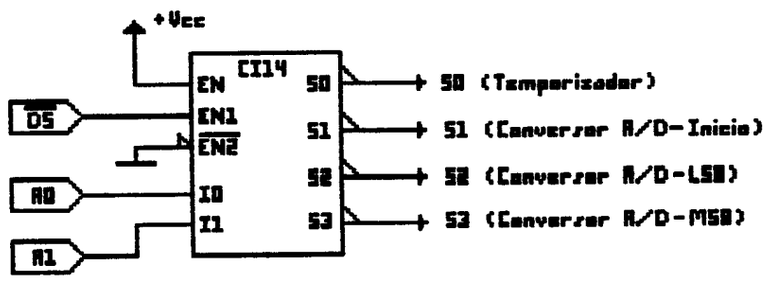


Fig.III.11 - Seletor de Funções: habilitado somente pelo sinal de habilitação do "Slot" no qual está conectado

III.5 - Acionador de Carga

O Acionador de Carga (Fig.III.12) foi implementado a partir de um circuito integrado dedicado Chaveador em Zero Volt:

"Zero Volt Switch" - ZVS (CI16 - CA3079), um fotoacoplador (CI15 - 4N33), um triac (T1 - TIC226D) e alguns resistores e capacitores.

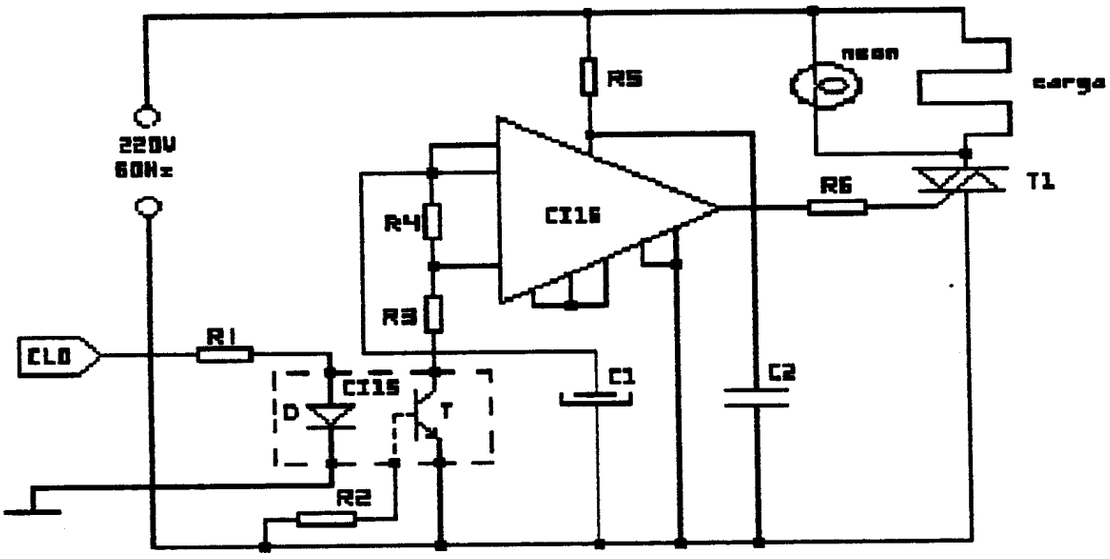


Fig.III.12 - Acionador de Carga

O cálculo da potência que será liberada para alimentar o aquecedor é feito pelo microcomputador mas a liberação desta potência é realizada por um circuito auxiliar denominado Acionador de Carga, cuja função é ligar ou desligar o aquecedor da rede elétrica. Para isto, o microcomputador altera o nível de saída da chave lógica CLØ, (do conector de jogos) e envia-o para o ZVS, através do fotoacoplador (cuja função é isolar eletricamente o microcomputador do circuito).

O ZVS é alimentado diretamente pela rede elétrica (22ØV - 6ØHz) e, através de seus circuitos internos, gera pulsos de 12ØHz com aproximadamente 1ØØµs de largura, toda vez que a senóide da rede se anula. Estes pulsos, combinados com o sinal CLØ em nível alto (5V), são liberados para ligar o aquecedor à rede elétrica, através de T1. Desta forma, quando necessário, o aquecedor será ligado sincronamente com a senóide da rede elétrica.

Uma pequena lâmpada de neon, ligada em paralelo com a carga e instalada no painel frontal da caixa do Acionador, indica ao usuário quando o aquecedor está ligado.

O chaveamento de potência (ligar ou desligar a alimentação) somente quando a senóide da rede elétrica passa pelo zero volt, diminui o ruído sobre a tensão da rede. Se o chaveamento ocorresse em qualquer outro ponto da senóide, poderia gerar transientes muito altos (devido as variações bruscas de tensão), que por sua vez, poderiam interferir nas medidas. Quanto maior o valor absoluto da tensão da senóide no instante de chaveamento, maiores poderão ser os picos de transientes.

III.6 - Erros de Medição

Como foi dito, a linearização do termopar e a quantização do sinal analógico acrescentam erros sobre o valor de temperatura lido. Entretanto, fazendo os cálculos, observou-se que o erro total é muito pequeno, de modo que não comprometem a qualidade dos resultados.

O erro máximo devido a linearização do termopar será de Ø,4% e o erro de quantização igual a Ø,Ø5%. Disto, resulta que, para leitura de temperatura, o erro máximo será de Ø,4%.

No caso da leitura de corrente, utilizando a pior escala em relação a precisão (1ØfA/Ø,1%) o erro máximo será de Ø,15%.

III.7 - Comentários

Devido ao fato de existir ar entre a amostra e as paredes internas do aquecedor, e pelo ar ser um mau condutor de calor, existirá sempre uma "inércia térmica" que faz com que o sistema não responda imediatamente ao estímulo, isto é, a

temperatura da amostra não aumentará imediatamente com o aumento de potência fornecida ao aquecedor. Antes disto, todo o ar existente entre as paredes internas do aquecedor e a amostra deverão ser aquecidos, para propagar calor à amostra. Quanto maior o aquecedor, maior será a inércia térmica portanto, pior o controle. Desta forma, o cálculo do tempo que o aquecedor deve permanecer ligado, foi feito individualmente para cada aquecedor utilizado.

Enquanto o termopar indicava um valor de temperatura da amostra e o calor gerado pelo aquecedor ainda não o havia atingido, o acionador liberava mais potência para aquecimento, ultrapassando o valor desejado. Nesta sequência, quando o acionador era desligado, a temperatura da amostra, continuava aumentando, embora com uma taxa menor. Este comportamento do aquecedor provocava oscilações que distorciam a curva de controle de temperatura. Sendo assim, o controle de potência foi testado exaustivamente até conseguirmos obter o melhor valor de duração de pulso de liberação de potência, e os melhores intervalos de ciclo de controle de temperatura, que não distorcessem a curva de aquecimento. Os parâmetros que definem tal pulso estão embutidos no programa em linguagem de máquina. Entretanto, mesmo após as correções, a curva ainda apresenta distorção no início do processo. Uma forma de minimizar este problema seria resfriar o aquecedor e iniciar o processo a uma temperatura menor que a temperatura ambiente.

Como os efeitos da descarga termo-estimulada da amostra são normalmente observados a temperaturas mais elevadas (acima de 50°C)[5], não é necessário recorrer a tal procedimento.

CAPTULO IV

PROGRAMAS PARA CONTROLE DE TEMPERATURA E AQUISIÇAO DE DADOS

Todas as decisões a serem tomadas em relação ao comportamento do sistema termo-estimulado, são feitas pelo microcomputador, através do programa de controle.

Este programa é composto por um programa "CTRL.BAS", escrito em "Applesoft" (BASIC do Apple) e um programa "CTRL.ASM", escrito em Assembly do 65Ø2 (linguagem de máquina do microprocessador do Apple).

Basicamente, o programa CTRL.BAS efetua a interação entre o sistema e o usuário, pedindo informações a respeito dos parâmetros necessários para compor a função de controle escolhida, apresentando os resultados intermediários numérica e/ou graficamente e armazenando-os posteriormente em disquetes. O programa CTRL.ASM é responsável pela leitura do sinal de temperatura e de corrente na amostra, pelo sincronismo, pelo controle e fornecimento dos dados para o programa CTRL.BAS. Durante todo o processo de controle, ocorre interação entre estes dois programas. O acesso do programa CTRL.BAS ao programa CTRL.ASM é realizado através da seguinte sequência de operações:

```
POKE 11,LSB
POKE 12,MSB
X = USR(Ø)
```

Nos endereços 11 e 12 são armazenados o byte menos e mais significativos do endereço inicial da rotina em Assembly que deseja-se executar. A variável "X" corresponde à variável que receberá o resultado desta execução.

As sequências de operações necessárias para execução do

processo de controle estão apresentadas no fluxograma da Fig.IV.1 e descritas logo a seguir.

IV.1 - Descrição do Programa em Linguagem de Alto Nível: CTRL.BAS

Neste item, serão explicadas, as principais operações efetuada por esta rotina, podendo ser acompanhada pela listagem do programa (vide Apêndice D).

IV.1.a - Opção de Controle

O programa inicia "carregando" a rotina CTRL.ASM do disquete para a memória do microcomputador. Em seguida apresenta as possíveis opções de controle (de temperatura):

- linear,
- senoidal,
- exponencial,
- logarítmico,

De acordo com a opção de controle feita pelo usuário, deverão ser definidos os parâmetros. Antes porém, o programa dimensionará as variáveis e definirá as constantes necessárias.

IV.1.b - Dimensionamento das variáveis

Como as operações de acesso a disquete são muito lentas, para não perder o sincronismo com o tempo real, os pontos coletados são armazenados na memória do microcomputador, durante todo o período de controle e somente após o término do processo são transferidos para um disquete em forma de arquivo de dados.

Reservou-se uma área de memória do microcomputador, na qual é possível armazenar até 2000 pontos (1000 para cada variável), embora normalmente sejam gerados arquivos bem menores.

SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO - IFQSC
FÍSICA

FLUXOGRAMA DO PROGRAMA
CTRL.BAS

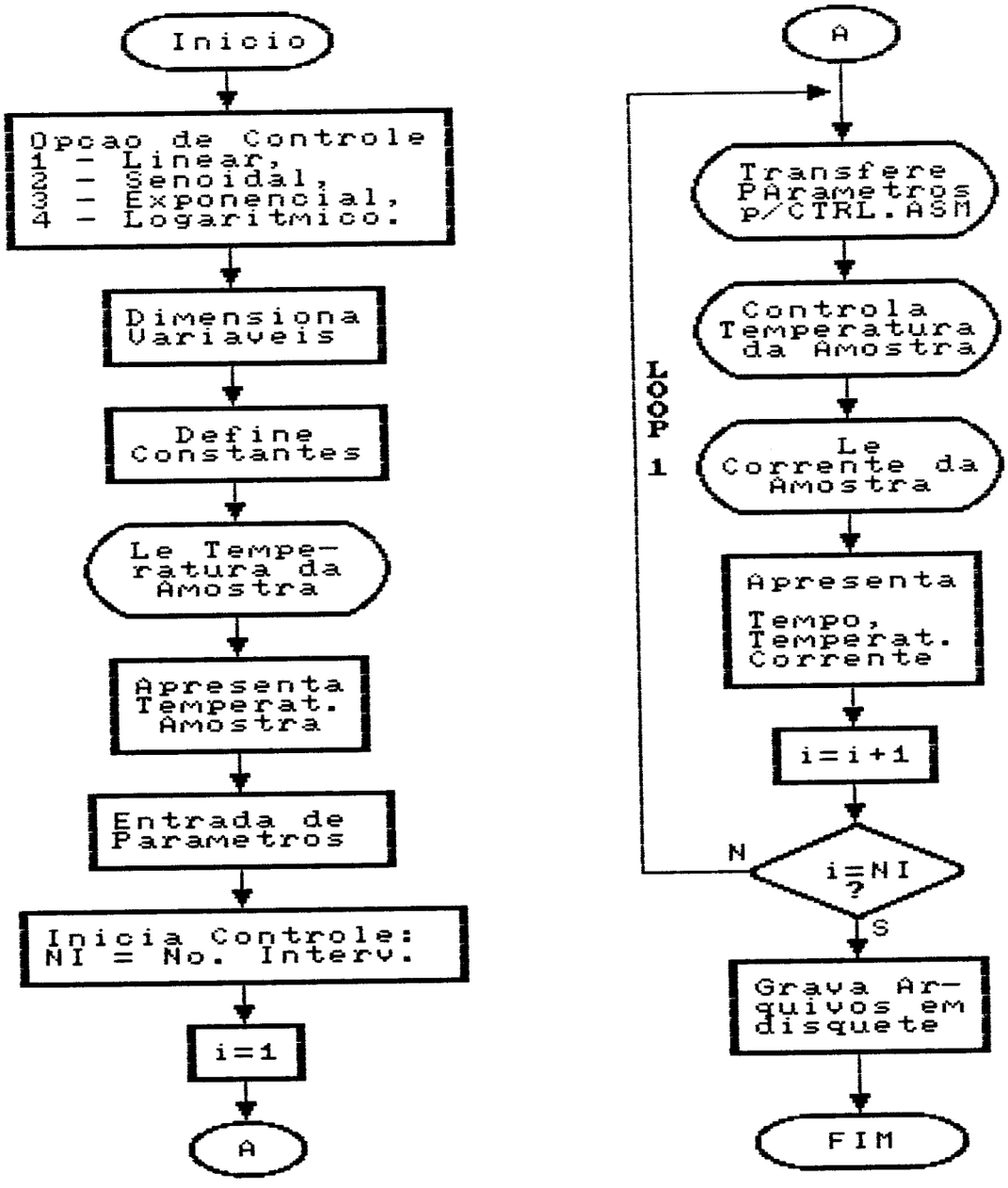


Fig.IV.1 - Fluxograma do Programa em BASIC para controle de Temperatura e Aquisicao de Dados. Operacoes completas dentro do "LOOP 1" estao esquematizadas na Fig.IV.2.

IV.1.c - Definição das Constantes

Para poder definir todas as constantes que serão utilizadas pelo programa, no decorrer do processo, o programa pergunta ao usuário pelo ganho do amplificador de leitura de temperatura utilizado (ajustado por "hardware") e pelo fundo de escala do eletrômetro. As constantes são utilizadas para formatação dos resultados numéricos, apresentados no monitor de vídeo e para conversão entre grandezas. As constantes e as conversões realizadas são:

c.1 - Conversão de tempo em minutos para ciclos de controle:

Como foi explicado no capítulo anterior, o controle de temperatura é realizado periodicamente em intervalos de 250ms, isto é, a cada minuto são realizados 240 ciclos de controle. A função de controle de temperatura é expressa em função do tempo em minutos mas deve ser calculada em relação a estes ciclos. Para converter os parâmetros dependentes do tempo, de minutos para ciclos de controle deve-se multiplicá-los pelo fator de conversão "FI", onde:

$$FI = 240 \quad [\text{controles/minuto}] \qquad (IV.1)$$

c.2 - Conversão de temperatura em graus Celsius para base binária:

Como a leitura da temperatura da amostra é convertida de analógica para digital, os parâmetros relativos a temperatura devem ser transferidos para o programa CTRL.ASM em base binária. Nesta conversão, devem ser considerados os seguintes fatores:

1. Utilizando-se termopares, não se obtém diretamente a temperatura em graus Celsius e sim um nível de tensão

proporcional a este valor;

2. Por este valor ser muito baixo (alguns milivolts), este foi amplificado por um fator Av_1, que corresponde ao ganho do amplificador de temperatura (Capítulo III, item III.2.a);

3. Este sinal é novamente amplificado (ganho igual a 2) no seletor de entradas analógicas (Capítulo III, item III.4.a), antes de ser convertido para a forma digital;

4. A quantização é em 10 bits, ou seja, em 1024 níveis discretos e a entrada analógica deve estar na faixa de 0 a 10V.

De acordo com estes itens, o fator de conversão "FT" é:

$$FT = \frac{12{,}21\ 10^{-3}\ [V]}{300\ [°C]} * A_{v1} * 2 * \frac{1024\ [níveis]}{10\ [V]} \qquad (IV.2)$$

c.3 - Conversão de corrente (pA) para base binária:

Pelo fato da saída do eletrômetro apresentar um sinal de tensão variável entre 0 e 3V (independentemente do fundo de escala FEE utilizado), este é amplificado por um fator igual a 1,67 vezes (Capítulo III, item III.2.b) para variar entre 0 e 5V. Após a amplificação, este sinal também é novamente amplificado no seletor de entradas analógicas e quantizado, de modo que o fator de conversão "FC" é expresso por:

$$FC = \frac{3}{FEE}\ [V/pA] * 1{,}667 * 2 * \frac{1024}{10}\ [níveis/V] \qquad (IV.3)$$

IV.1.d - Entrada de Parâmetros

No monitor de vídeo é apresentada a expressão da função de controle selecionada para que o usuário identifique os parâmetros que deverá definir.

Como nem sempre o aquecimento inicia com a amostra à temperatura ambiente (pode ter sido realizado um pré-aquecimento), para orientar o usuário, o programa lê (através de uma rotina de CTRL.ASM) a temperatura na qual se encontra a amostra e apresenta-a no monitor de vídeo. Em seguida pede os parâmetros da função.

A entrada dos parâmetros para controle linear e senoidal são semelhantes entre si e totalmente diferentes dos parâmetros para controle exponencial e logarítmico (que também são semelhantes entre si), de modo que, para simplificação, eles foram divididos em dois grupos.

d.1 - Controle Linear e Controle Senoidal

Muitas vezes, deseja-se realizar o processo de tratamento térmico do dielétrico em várias etapas de aquecimentos, resfriamentos e estabilização da temperatura da amostra em determinados valores. Para que não fosse necessário executar o programa de controle toda vez que uma nova condição (mudança de razão de aquecimento) tivesse que ser estabelecida, optou-se por descrever esta rotina de controle de modo que o usuário definisse em quantos intervalos, ou seja, quantas vezes as condições do sistema seriam alteradas, para este mesmo processo.

A cada intervalo, o sistema se comportará como se fosse um novo processo, onde o usuário deverá determinar as condições nas quais será realizada esta etapa do processo; aquecimento, resfriamento ou estabilização; com que taxa linear deverá ser realizado o controle; o número de pontos (de temperatura e corrente) que deverão ser amostrados e o período de validade destas condições. Esta flexibilidade no controle é útil também quando deseja-se obter concentrações diferentes de pontos,

durante o decorrer do processo, aumentando ou diminuindo a amostragem, de acordo com o possível comportamento do material, segundo a teoria.

A forma como é realizado este controle "seccionado" é descrito a seguir:

As equações que definem o controle de temperatura linear e senoidal são, respectivamente:

$$T(t) = T(i-1) + k(i)t, \quad [°C] \qquad (IV.4)$$

$$T(t) = T(i-1) + k(i)t + A\mathrm{sen}(2\pi ft), \quad [°C] \qquad (IV.5)$$

onde T(i-1) é a temperatura final no intervalo anterior, igual à temperatura inicial da amostra, quando i=1; k(i) é a taxa de variação de temperatura [°C/min] e somente para o caso de controle senoidal, "A" [°C] é a amplitude da senóide de frequência "f" [Hz], que será superposta ao segmento de reta, definido por k(i).

Se a opção for pelo controle senoidal, o programa pedirá o valor da amplitude "A" e da frequência "f" da senóide. No controle senoidal, "A" e "f" são definidas uma única vez, valendo para todo o processo, independente da variação da taxa k(i).

A seguir, sendo o controle linear ou senoidal, o programa perguntará, em quantos intervalos "NI" será realizado o processo.

Para cada intervalo de NI, o programa pedirá a taxa k(i) que pode ser positiva (aquecimento), igual a zero (estabilização numa determinada temperatura), ou negativa (resfriamento). No caso de resfriamento, este é não forçado, isto é, não existem serpentinas nem injeção de gases refrigerantes na câmara do aquecedor. O resfriamento pode ser controlado

linearmente, até a temperatura ambiente, desde que a taxa seja menor ou igual a Ø,4°C/min (maior taxa de resfriamento natural encontrado para as estufas disponíveis).

Se a taxa for positiva, o programa pedirá a temperatura final que deverá atingir no intervalo e calculará o tempo necessário para execução. Se a taxa for negativa ou igual a zero, o programa pedirá o tempo que deverá durar esta etapa e calculará a temperatura final no intervalo. O programa verificará também se a temperatura final não será maior que a temperatura limitada pelo ganho do amplificador de leitura de temperatura (Capítulo III, item III.2.a)

A seguir, o programa perguntará pelo número de pontos "NP" de temperatura e de corrente que deverá amostrar, durante o intervalo. Ao final do processo de controle, os arquivos gerados terão um total de pontos igual à soma do número de pontos definido para cada intervalo.

Terminada a entrada de parâmetros para a função, o programa perguntará pelo tipo de arquivo que deseja-se armazenar. As opções são:

* temperatura x tempo	<nome>.TT
* corrente x tempo	<nome>.CT
* temperatura x corrente	<nome>.TC
* os três arquivos acima	
* tempo x temperatura x corrente	<nome>.TTC

O <nome> corresponde ao nome que o usuário fornece para o(s) arquivo(s) a ser(em) gravado(s). As extensões ".TT", ".CT", ".TC" e ".TTC", diferenciam o conteúdo de cada arquivo gerado.

Definidos os arquivos, o programa pergunta pela apresentação dos resultados, que pode ser:

- tabular (numérica)
- gráfica

Após a entrada dos parâmetros, inicia-se o controle de temperatura.

d.2 - Controle Exponencial e Controle Logarítmico

As expressões que definem estes tipos de controle são, respectivamente:

$$T(t) = (Ta - 1) + \exp(k(t)), \qquad [°C] \qquad (IV.6)$$

$$T(t) = Ta + Ln(k(t)), \qquad [°C] \qquad (IV.7)$$

onde Ta é a temperatura inicial da amostra [°C] e k(t) é o fator de aquecimento (exponencial ou logarítmico).

O usuário fornece ao programa o valor de k(t) e a temperatura final que deseja atingir. A partir destes valores e da temperatura inicial, o programa calculará o tempo necessário que deverá controlar o processo. Neste caso também, o programa monitora o limite de temperatura máxima permitida.

A seguir, é solicitada a definição do número de pontos "NP" que cada variável deverá ter.

O procedimento para definição do tipo de arquivo a ser armazenado, o nome deste e a forma de apresentação dos resultados é idêntico ao caso de controle linear ou senoidal.

IV.1.e - Controle de Temperatura e Aquisição de Dados

O controle de temperatura e a aquisição dos dados é realizado em três "loops". O primeiro transfere para o programa CTRL.ASM, os parâmetros de geração da função de referência de temperatura, o segundo realiza o controle de temperatura e

armazena os pontos obtidos (temperatura e corrente) e o terceiro, realiza somente o controle de temperatura, sem armazenar nenhum valor. O fluxograma da Fig.IV.2 representa a sequência de operações de controle e aquisição de dados dentro destes "loops".

Sabe-se que o ciclo de controle de temperatura é de 250ms e deseja-se que os pontos sejam igualmente espaçados durante a duração do intervalo (controle linear ou senoidal) ou do processo (controle exponencial ou logarítmico). Assim, o passo "MP" ou intervalo de variação do segundo "loop" é dado por:

$$MP = t / NP \quad \text{[minutos/pontos]} \qquad \text{(IV.8)}$$

onde "t" [min] é o tempo de duração de cada intervalo (ou do processo) e NP é o número de pontos definido para "t".

O número de vezes que será executado o terceiro "loop" é definido por:

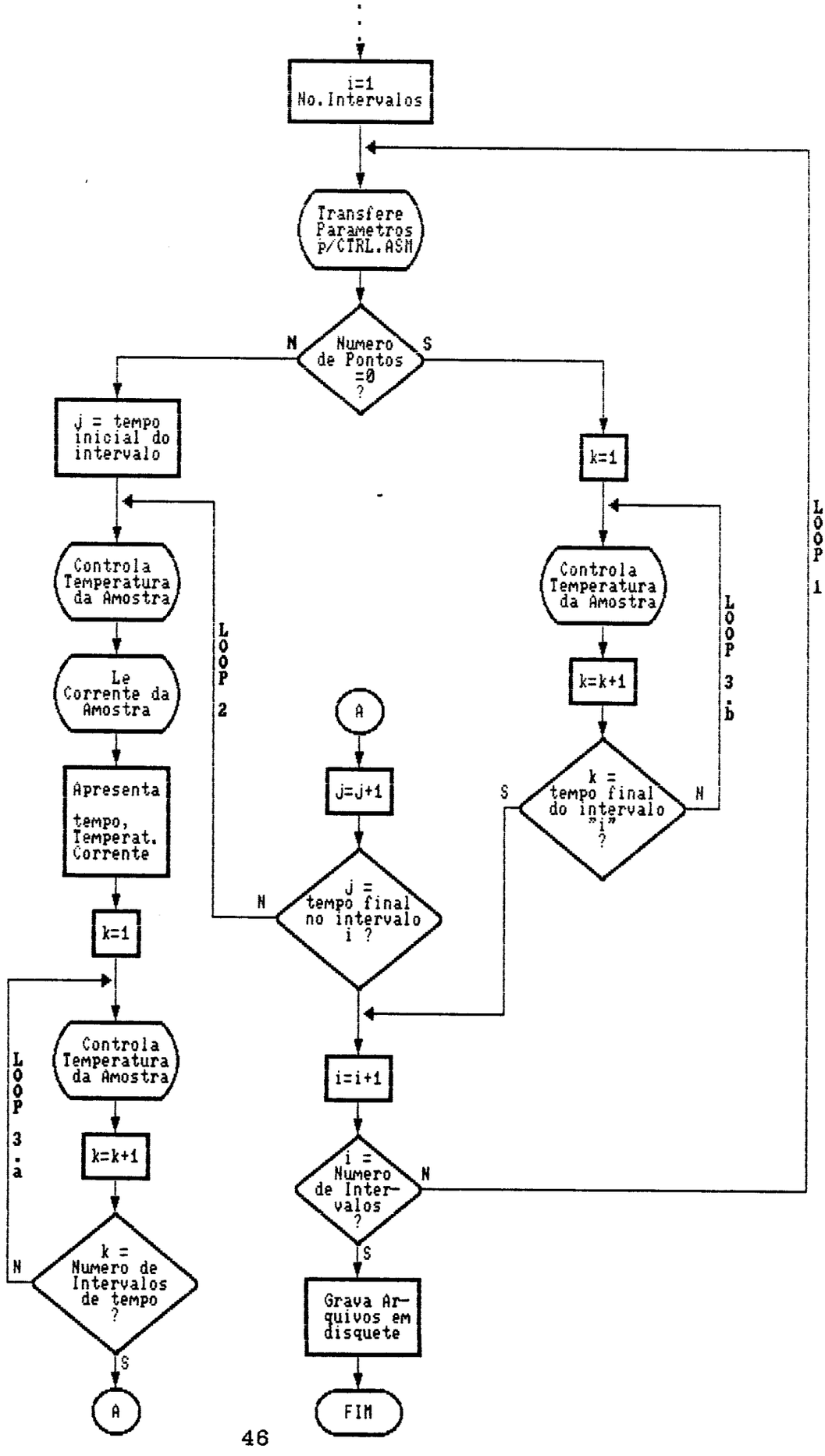
$$C = FI * MP - x \quad \text{[controles]} \qquad \text{(IV.9)}$$

onde FI=240 [controles/minuto]. O termo C representa o número de vezes que será efetuado o controle de temperatura, sem armazenamento de pontos.

Se for definido que nenhum ponto será armazenado, MP não será calculado e "x" da equação IV.9 será "0" (só será efetuado controle), caso contrário, MP é calculado e "x" será igual a "1" (para descontar o ponto que será controlado e armazenado no primeiro "loop"). Um exemplo numérico de MP e C é o caso de um processo programado para durar 30 minutos e armazenar 90 pontos: Desta forma, a cada 0,33 minutos (20 segundos) é armazenado um ponto (MP=0,333). A cada segundo sempre são realizados 4 controles. Logo, em 0,33 minuto serão realizados 80 controles, e somente um ponto é armazenado (C = 79).

Fig.IV.2 - FLUXOGRAMA DO PROGRAMA CTRL.BAS

(detalhes sobre o controle de temperatura e aquisicao de dados)



IV.1.f - Apresentação dos Resultados

Se a opção for por apresentação gráfica, será utilizada a página gráfica de alta resolução do Apple que é definida em 280 colunas por 162 linhas (quando se utiliza a janela de texto de quatro linhas). As curvas de temperatura e de corrente serão "plotadas" e, simultaneamente, serão apresentados os valores numéricos dos respectivos pontos. O eixo da temperatura é posicionado à esquerda da tela do monitor e é definido de 0°C até a temperatura máxima (definida para o processo) mais 10% deste valor. A escala deste eixo é dividida em cinco partes iguais, (cada uma correspondendo a 20% da temperatura máxima), mais uma margem de tolerância (10% da temperatura máxima) sobre a última divisão. O eixo da corrente é posicionado à direita e as divisões seguem o mesmo princípio da divisão do eixo de temperatura. O eixo do tempo, na horizontal, dividido em cinco partes iguais, representa o tempo total de duração do processo de controle.

Se a opção for por representação tabular, os dados serão apresentados numericamente, com precisão de duas casas decimais, embora a gravação dos arquivos seja feita sem arredondamento dos valores obtidos. Estes são apresentados em colunas, onde a primeira coluna corresponde ao tempo em minutos, a segunda à temperatura em °C e a terceira à corrente medida em pA.

IV.1.g - Armazenamento de Arquivos de Dados

Finalizado o controle e aquisição dos dados, "loops" semelhantes aos de controle são executados para leitura dos valores armazenados em memória e gravação dos arquivos. O arquivo é gravado conforme especificação do usuário.

Todos os arquivos possuirão o mesmo número de pontos e -serão armazenados no disquete que deverá estar dentro do acionador de discos, antes do final do processo.

Estes arquivos podem ser plotados e impressos através do programa "Graficador"[*]. Para realização de cálculos sobre os pontos, aconselha-se transferir os arquivos para uma máquina de maiores recursos computacionais, como por exemplo um microcomputador da linha IBM/PC ou o um computador de maior porte, como por exemplo o VAX-78Ø. Esta transferência pode ser feita através da conexão do Apple com a outra máquina, via interface serial RS-232C, e utilizando o protocolo KERMIT[**].

IV.1.h - Tratamento de Erros

Na ocorrência de erros durante o processo (interrupção do programa através de "^C" (pressionando as teclas <CTRL> E <C>, simultaneamente) ou durante a gravação de arquivos (disco cheio, protegido contra escrita, ausência de disco, arquivo de mesmo nome travado ou com tipo de conteúdo diferente de dados), o programa identifica o erro e toma as providências necessárias, indicando ao usuário as providencias que ele deve tomar, se deseja salvar os dados obtidos até o momento.

- -

OBS:-

[*] - O programa "Graficador" foi desenvolvido no Grupo de Eletretos (DFCM-IFQSC-USP, por J.A.Giacometti e A.Jorge), em linguagem BASIC, para ser utilizado em microcomputadores da linha Apple II-Plus, com a finalidade de manipular arquivos de dados. O programa possui vários recursos, tais como: conversão de valores lineares para não lineares (exponenciais, logarítmicos ou quadráticos), definição dos limites das escalas e do tamanho do gráfico, o formato de representação dos pontos e outros. Por possuir mais recursos do que os necessários para apresentação dos resultados obtidos, optou-se por utilizá-lo ao invés de desenvolver outro programa semelhante (e mais simplificado).

[**] - O protocolo KERMIT foi desenvolvido na Universidade de Columbia (U.S.A), com a finalidade de permitir a transferência de arquivos entre quaisquer dois sistemas, através da utilização de interfaces seriais RS-232C. A transferência é feita na forma de "pacotes" contendo dados e informações de controle como sincronismo, número e comprimento do pacote.

IV.2 - Descrição do Programa em Linguagem de Baixo Nível: CTRL.ASM

Neste programa é gerada a função pré escolhida para o controle de temperatura, são lidas a temperatura e a corrente da amostra, é feito o sincronismo de tempo e a ativação ou não da potência do aquecedor. Os valores de temperatura e corrente lidos são enviados para o programa CTRL.BAS, em ponto flutuante.

Por utilizar as rotinas matemáticas intrínsecas do próprio microcomputador[11,12], as operações com os números em ponto flutuante tornaram-se simples e o programa ficou bem compacto.

O programa CTRL.ASM é dividido em quatro grupos de rotinas, conforme esquematizado no fluxograma da Fig.IV.3;

- Leitura da temperatura inicial da amostra,
- Recepção dos parâmetros de CTRL.BAS para CTRL.ASM,
- Controle de Temperatura,
- Leitura da corrente na amostra.

De acordo com a opção de controle, o programa CTRL.BAS define o endereço para cada uma destas rotinas que, uma vez acessada, funciona como uma subrotina, retornando quando uma instrução "RETURN" for executada (sem chamada de subrotina interna), trazendo consigo o último resultado de operação efetuado.

IV.2.a - Leitura da Temperatura Inicial da Amostra

Esta rotina lê a temperatura inicial da amostra "Ta", retornando-o para o programa CTRL.BAS e armazenando-o como valor inicial da função de referência de controle de temperatura "T(t)", pois todas as funções de controle iniciam em T(Ø) = Ta.

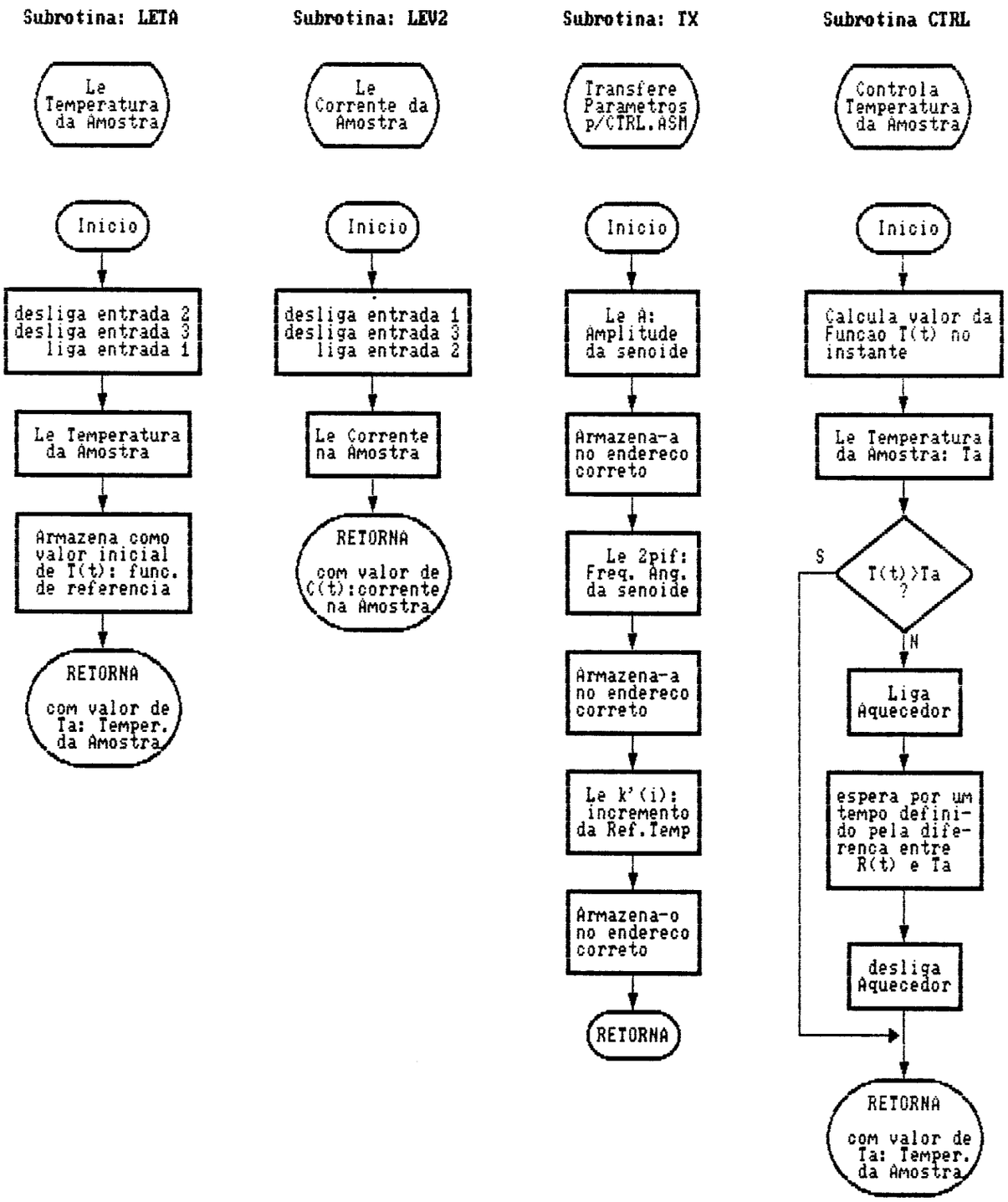


Fig.IV.3 - Fluxograma das Subrotinas em Assembly do programa CTRL.ASM. O primeiro bloco (no inicio de cada subrotina) representa o bloco de chamada da respectiva subrotina no fluxograma do programa CTRL.BAS.

SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO - IFQSC
FÍSICA

IV.2.b - Recepção dos parâmetros

Esta rotina recebe três parâmetros (no caso de controle senoidal) ou um parâmetro (para os demais tipos de controle), para a geração da função T(t), da linha de programa CTRL.BAS que a chamou (parâmetros após a instrução "USR(Ø)"), armazenando-os em suas respectivas posições de memória e retornando sem nenhum valor. Os dados na linha de programa em BASIC devem estar separados por virgula para discriminação de cada um.

Os parâmetros recebidos são, nesta sequência; "A" (amplitude da senóide); "f" (frequência da senóide) e "k" ou "k(i)" (taxa de incremento de T(t)). Somente o controle senoidal utiliza estes três parâmetros, os demais utilizam apenas o último. Ao final da recepção, o programa retorna para o BASIC, sem levar nenhum valor.

IV.2.c - Controle de Temperatura

Esta rotina inicia calculando o valor da função T(t) no instante, acrescentando 25Øms sobre o tempo anterior (ciclo de controle).

Para a função linear a operação é simples: Como o valor da taxa k(i) já foi convertido, no programa em BASIC, para um valor proporcional a "níveis quantizados"/25Øms, a geração da função T(t) será, simplesmente a soma deste valor convertido de k(i), ao valor anterior de T(t).

$$T(t) = Ta + k(i)t, \qquad k(i)t = k(i)t + 25Øms \qquad \text{(IV.1Ø)}$$

Para as demais funções de controle, o processo de incremento de k(i) é efetuado como descrito acima.

Para cálculo das funções matemáticas seno, exponencial e logarítmo natural, utilizou-se de rotinas internas do Apple.

Para a geração de cada uma destas funções de controle existe uma rotina independente, identificada pelo endereçamento definido no programa CTRL.BAS.

Após a geração da função de referência de temperatura, é feito um desvio para uma subrotina (comum às quatro funções de controle), que efetua o controle da temperatura, comparando o valor da função T(t) com o valor da temperatura da amostra no instante Ta(t). Se T(t) for maior que Ta(t), o aquecedor será ligado, e mantido neste estado durante um período igual a:

$$Tlig = 5 * (2*(DIF + 1)) \quad [ms] \qquad (IV.11)$$

onde DIF = T(t) - Ta(t).

Como o acionamento de potência é realizado somente no instante em que a tensão da rede elétrica se anula, o sinal de disparo do triac (T1, Fig.III.12) deverá ter, pelo menos 8,34ms (1/120Hz) de largura para conseguir ligar o aquecedor por um semi-ciclo da senóide. Esta condição é satisfeita, uma vez que o valor de DIF é positivo e inteiro (é considerada somente a parte inteira da diferença) e, substituido na expressão acima, será sempre maior que 10ms.

Pela expressão IV.11, pode-se observar que um valor de "DIF" muito alto, poderia fazer o programa perder o sincronismo. Entretanto, isto não ocorre na prática pois para isto, "Tlig" deveria ser maior ou igual a 250ms (um ciclo de controle), o que corresponde a um valor de "DIF" maior que 24, em base binária. Lembrando que os parâmetros relativos a temperatura, quando multiplicados por "FT" são convertidos de graus Celsius para base binária, e sabendo-se que o valor de "FT" é da ordem de 3,5 "níveis discretos"/°C, esta diferença (DIF=24) corresponderia a aproximadamente 7°C, o que não ocorre neste sistema.

Este valor de Tlig foi obtido após vários testes, na

intenção de tornar o acompanhamento da temperatura o mais próximo da referência linear. Somente após este ajuste, foi possível iniciar a trabalho sobre funções de controle não lineares de temperatura.

Passado o tempo igual a Tlig, o aquecedor é desligado e o programa retorna para o BASIC com o valor de Ta (lido antes da comparação).

IV.2.d - Rotina de Leitura

Para leitura da temperatura, são desligadas as chaves lógicas (Capítulo III, item III.4.a) CL2 e CL3 e ligada CL1 através de acesso a seus respectivos endereços (Apêndice C). Feito isto, espera-se pela transição do pulso de relógio de 250ms, quando então é feito um desvio para a subrotina de conversão analógica/digital. Nesta subrotina é habilitada a conversão, são lidos o byte mais e menos significativo e estes são convertidos para um número em ponto flutuante. A subrotina retorna com o valor da temperatura da amostra, para a posição de onde foi solicitada.

A rotina de leitura da corrente da amostra realiza um procedimento semelhante (ao da leitura de temperatura) com as chaves lógicas, mas a chamada à subrotina de conversão é realizada imediatamente, sem esperar pelo relógio de sincronismo (esta leitura ocorre no mesmo intervalo em que foi efetuado a leitura e o controle da temperatura). Terminada a leitura, o programa retorna com o valor lido, em ponto flutuante.

Os dados (temperatura e corrente) são apresentados como se tivessem sido obtidos simultaneamente, embora exista uma pequena diferença de tempo entre eles. Como esta diferença é muito pequena (menor que 250ms) e as variações destes sinais no tempo, é muito lenta, esta diferença pode ser desprezada.

Embora a terceira entrada analógica não seja utilizada atualmente, a subrotina que realiza a leitura e conversão desta, está inclusa no programa, podendo ser ativada através do programa CTRL.BAS.

IV.3 - Comentários

No Capítulo II, descreveu-se as vantagens de se conseguir realizar controles lineares ou não lineares de temperatura, para análise do comportamento do material, quando submetido a tratamento térmico. No Capítulo III, mostrou-se que, uma vez os circuitos dos sistema definidos, a forma que o controle será efetuado depende do programa no microcomputador utilizado. Como pode ser comprovado neste Capítulo, através destes programas pode-se realizar os vários tipos de controle, fazer aquisição dos dados importantes para a análise do material e facilitar o processamento dos mesmos.

A técnica empregada permite que se defina vários intervalos de controle (no caso linear e oscilante), de modo que é possível definir vários comportamentos tais como, aquecimentos, estabilizações numa determinada temperatura e resfriamentos e também, variar o número de amostragens de pontos para cada um dos intervalos. Esta última facilidade é muito útil quando as curvas a serem medidas têm comportamentos muito variados (variações rápidas e lentas). Os processos que normalmente eram efetuados em várias etapas (controle de temperatura linear), podem agora ser programados de uma única vez, poupando tempo e atenção do usuário.

A corrente medida nos processos térmicos são funções do tempo e da temperatura. Para introduzir a dependência da temperatura nas equações, muitas vezes é desejável que esta

dependência seja não linear, para facilitar a resolução destas equações. Os controles exponencial e logarítmico foram desenvolvidos para casos específicos, para auxiliar na resolução de equações. O controle linear é normalmente utilizado em processos TSC e TSD. O controle senoidal, como foi visto no capítulo II, é utilizado para determinação da constante piroelétrica do material, através da medida da corrente.

Como os programas foram as peças fundamentais para o bom desempenho do sistema, muita atenção e tempo foram requeridos na época de seu desenvolvimento para que pudéssemos obter os resultados atuais.

CAPITULO V

ANALISE DOS RESULTADOS

Neste capitulo apresentaremos os resultados obtidos através deste sistema de controle, sob várias circunstâncias experimentais. No primeiro item serão discutidos os resultados para o controle de temperatura, enquanto que no segundo, apresentaremos alguns exemplos de medidas elétricas em polímeros.

V.1 - Funções de Controle de Temperatura

Como já foi citado, o sistema deve ser capaz de efetuar o controle de temperatura da forma mais flexível possível. Serão apresentadas curvas de resposta de temperatura em função do tempo, com intenção de analisar o comportamento da temperatura, quando o aquecedor é submetido a cada um dos quatro tipos de controle.

Os valores ou a sequência das taxas utilizadas para obtenção destas curvas não implicam em um procedimento padrão para realização das medidas, estes exemplos foram tomados apenas para apresentar os recursos do sistema. A idéia fundamental é que o usuário defina a função e os ciclos de controle para o processo, conforme sua necessidade.

V.1.a - Aquecimento Linear: $T(t) = T(i-1) + k(i)t$

Normalmente, os processos térmicos mais utilizados são os de TSC e TSD com razões constantes de aquecimento, estabilização de temperatura ou resfriamento. Desta forma, este tipo de controle em particular, deve atender às necessidades das mais diversas aplicações às quais poderá ser submetido.

A Fig.V.1.a representa uma possível sequência que pode ser efetuada para controle linear. Neste exemplo, a intenção foi strar como se pode mudar de taxa num aquecimento, manter a temperatura estável durante um determinado intervalo de tempo e controlar o resfriamento até um valor de temperatura desejado.

Inicialmente a amostra é aquecida com uma taxa de 3°C/min., até atingir a temperatura de 90°C, quando então a taxa é mudada para 0,6°C/min. A alteração da função de controle é realizada automaticamente pelo microcomputador. Entretanto, o aquecedor responde a esta mudança somente após um certo tempo de atraso devido a sua inércia térmica. Este comportamento (que também pode ser observado quando é iniciado o processo de controle), provoca uma oscilação sobre a nova rampa de controle ("overshoot"), cuja amplitude e duração será maior, quanto maior for a diferença entre os valores das taxas.

A Fig.V.1.b é uma ampliação do trecho de aquecimentos e estabilização de temperatura desta medida, contendo também uma "janela" para outra ampliação da região onde está concentrado o "overshoot", no início da segunda rampa. Pode-se observar que a amplitude inicial desta oscilação é de aproximadamente 2°C, diminuindo gradativamente no tempo, até se tornar insignificante (em menos de 10 minutos).

Nas condições em que são realizados os processos, este comportamento poderia ser minimizado alterando-se o programa para que este pudesse prever e considerar, antes de ligar o aquecedor, um valor futuro de temperatura. No entanto, devido ao aumento do número de operações para o microcomputador, esta otimização poderia impedir que se fizesse outros tipos de controle, que os resultados fossem apresentados graficamente durante a execução do processo, ou então, poderia comprometer o sincronismo de tempo para o valor de ciclo de controle que utilizamos. O aumento no

tempo do ciclo de controle (250ms) não é conveniente uma vez que o controle é sobre um processo de resposta lenta (aquecedor). Outra forma de minimizar este efeito seria trabalhar com aquecedores que possuissem sistema de refrigeração, onde a inércia térmica poderia ser compensada. Como estas oscilações não chegam a provocar erros consideráveis, nenhuma das duas opções de alteração foram necessárias.

Na "janela" da ampliação das oscilações, pode-se observar mais nitidamente, as diferentes concentrações de pontos de amostragem que foram solicitadas para cada um dos intervalos de diferentes taxas (10 pontos/minuto no intervalo até 18,7 minutos e 1,5 pontos/minuto nos minutos seguintes). Este recurso de variação de número de amostragens é bastante útil quando se conhece previamente o comportamento da corrente termo estimulada e deseja-se obter melhores detalhes das regiões de maiores variações de corrente (picos).

Quando a temperatura da amostra é controlada, o valor medido é comparado com o valor que deveria ter no instante da leitura. Só é liberada potência para o aquecedor se a temperatura medida for menor que o valor de referência no instante. Isto faz com que, no equilíbrio (após as oscilações de variação de taxa), a temperatura seja sempre menor ou igual a referência. A menor diferença de temperatura detetável pelo microcomputador é de 0,3°C ou de 0,19°C (vide capítulo III, itens III.2.a e III.4.b). Desta forma, a correção da temperatura nunca ocorrerá para diferenças menores que estes limites, de modo que o erro de controle será, no máximo de 0,1% que, somado aos erros de quantização e de linearização do termopar será 0,5% sobre o fundo de escala (300°C). Desta forma, para melhorar a precisão, no caso de se trabalhar com temperaturas mais baixas, aconselha-se aumentar o ganho do pré-amplificador.

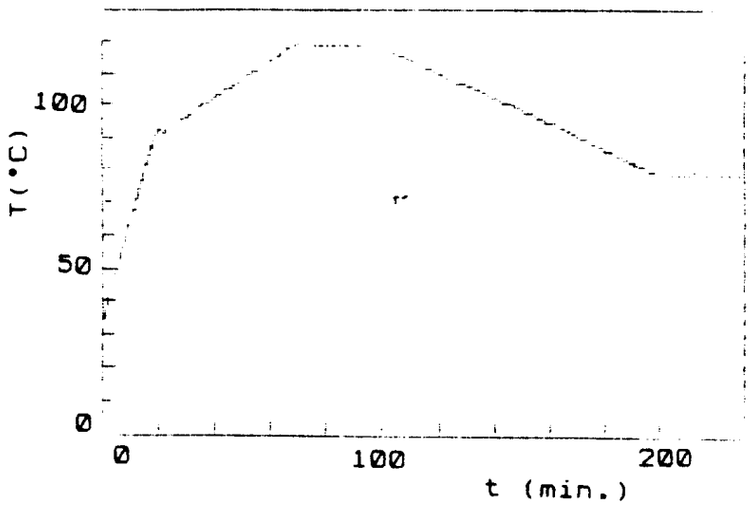


Fig.V.1.a - Aquecimentos com diferentes taxas de aquecimento e estabilização de temperatura

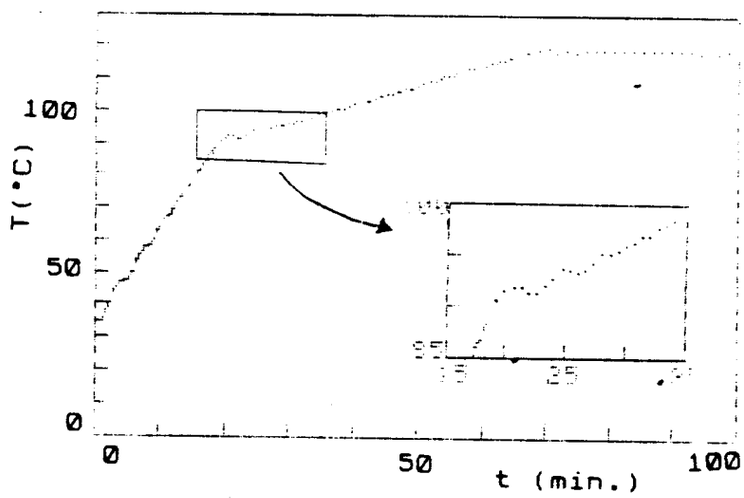


Fig.V.1.b - Ampliação da curva da Fig.V.1.a, no intervalo entre 0 e 100 minutos.

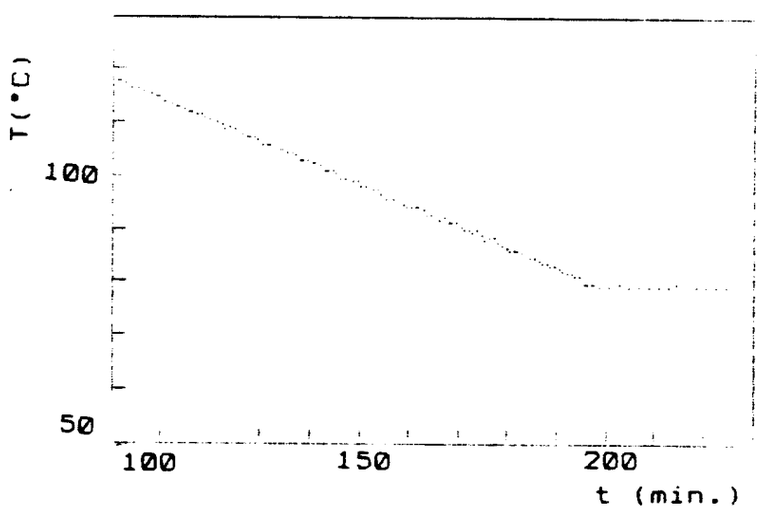


Fig.V.1.c - Ampliação da curva da Fig.V.1.a, no intervalo entre 100 e 230 minutos.

Ta = 33,89 °C

NI = 5

k(1) = 3,0 °C/min

TF(1) = 90 °C

TPO(1) = 18,7 min.

NP(1) = 187 pontos

k(2) = 0,6 °C/min

TF(2) = 120 °C

TPO(2) = 50 min.

NP(2) = 75 pontos

k(3) = 0° C/min

TPO(3) = 30 min.

TF(3) = 120 °C

NP(3) = 20 pontos

k(4) = -0,4 min.

TPO(4) = 100 min.

TF(4) = 80 °C

NP(4) = 120 pontos

k(5) = 0 °C/min

TPO(5) = 30 min.

TF(5) = 80 °C

NP(5) = 15 pontos

OBS:-
Ta = Temper. Inicial
NI = Nº Intervalos
i = índice de 1 a 5
k(i) = taxa
TPO(i) = duração
TF(i) = Temper.Final
NP(i) = Nº de pontos

Os interesses no resfriamento controlado são basicamente dois: a) Estudar medidas de corrente elétrica nas quais a amostra é aquecida e depois resfriada à mesma taxa, sob tensão aplicada[13]; b) Estudar o comportamento de polímeros devido a efeitos de histerese de volume[14].

V.1.b - Aquecimento Senoidal: T(t) = Ta + k(i) + Asen(2πft)

O controle de temperatura senoidal é util quando deseja-se analisar a dependência da grandeza elétrica com a variação da temperatura, como é o caso da corrente piroelétrica.

Pelo fato do controle senoidal ser simplesmente uma oscilação senoidal superposta a uma rampa (de aquecimento ou não) de temperatura, as flexibilidades e os problemas discutidos para o controle linear são válidos também neste caso.

A frequência da senóide depende principalmente dos seguintes fatores:

- temperatura; Quanto mais próxima da temperatura ambiente, pior o controle, por causa do resfriamento natural do aquecedor,

- amplitude; Quanto maior a amplitude, menor deverá ser a frequência, devido a inversão de comportamento nos picos (de aquecimento para resfriamento, principalmente), pois os aquecedores respondem lentamente às variações e, se estas forem rápidas, provocarão distorções na resposta.

- taxa linear de controle: k(i); Enquanto o sistema estiver sendo aquecido, a inversão de comportamento nos picos não será tão significativa pois, enquanto a senóide impõe um resfriamento, a taxa k(i) estará impondo um comportamento oposto, compensando o resultado final (Fig.V.2.b). No caso de resfriamento, a situação é mais delicada; para temperaturas altas, o aquecedor resfria rapidamente entretanto, para

temperaturas mais próximas da temperatura ambiente, o resfriamento é bem mais lento e a senóide pode sair distorcida.

Por estes fatores serem variáveis, não se impôs nenhuma restrição quanto aos limites de frequência e amplitude da senóide, devendo o usuário, através do exercício deste tipo de controle, definir os limites para seu sistema.

Tem-se obtido bons resultados para controles senoidais com amplitude de 4°C e frequência de 5 10^{-4}Hz.

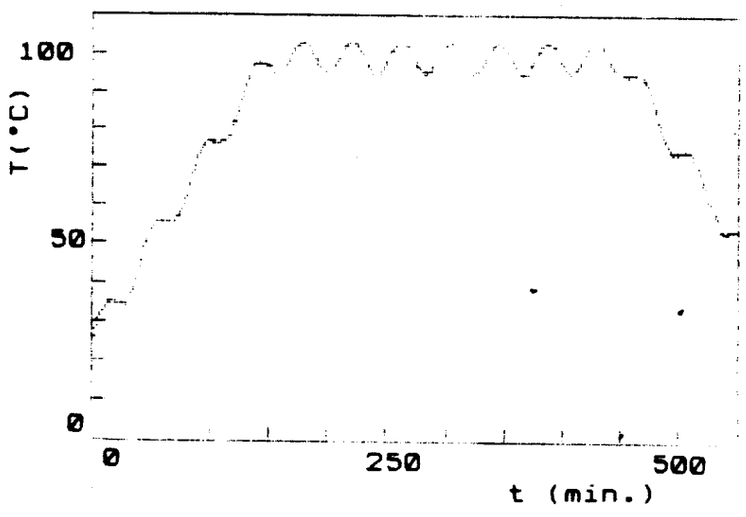


Fig.V.2.a - Aquecimento, Estabilização e Resfriamento Senoidal

Ta = 23,8°C

A = 4°C

f = 4 10^{-4} Hz

NI = 3

k(1) = 0,5°C/min

TF(1) = 100°C

TPO(1) = 152,4 min.

NP(1) = 150 pontos

k(2) = 0°C/min

TPO(2) = 300 min.

TF(2) = 100°C

NP(2) = 300 pontos

k(3) = -0,5°C/min

TPO(3) = 100 min

TF(3) = 50°C

TP(3) = 100 pontos

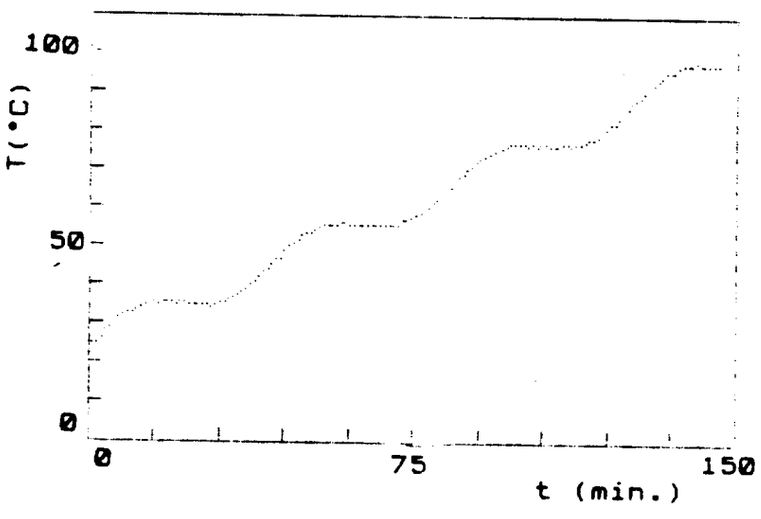


Fig.V.2.b: Ampliação da curva da Fig.V.2.a, no intervalo entre 0 e 150 minutos.

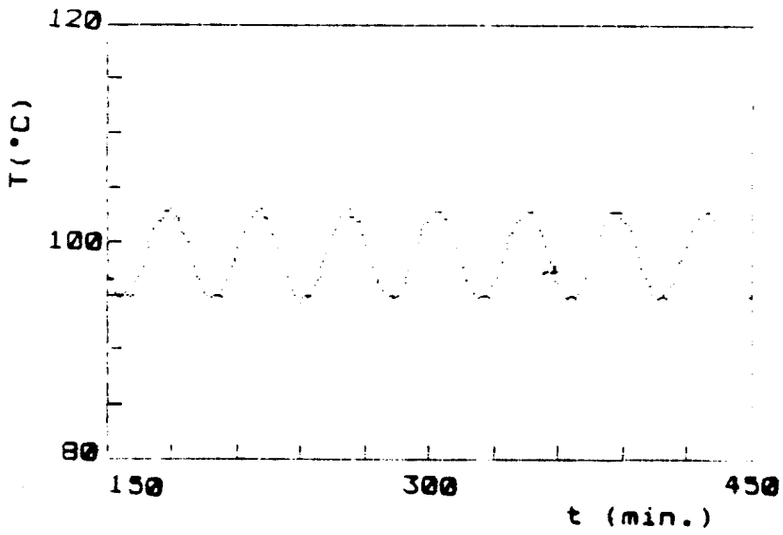


Fig.V.2.c - Ampliação da curva da Fig.V.2.a no intervalo entre 150 e 450 minutos.

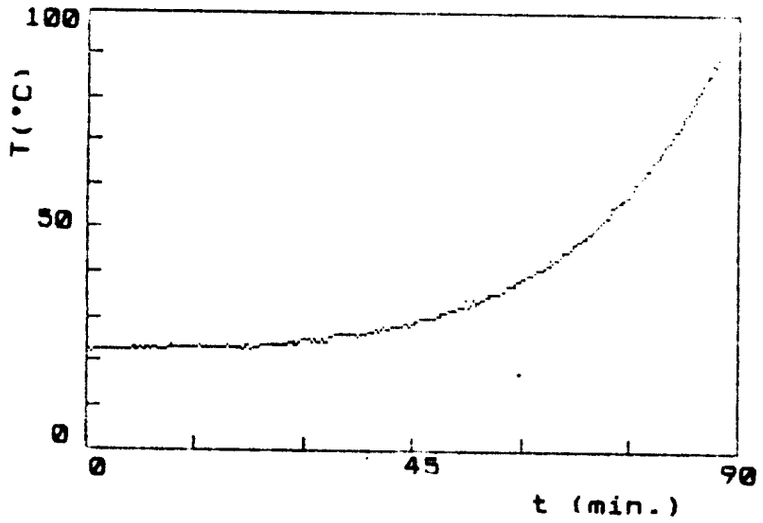
V.1.c - Aquecimentos Não Lineares:

Os aquecimentos não lineares foram desenvolvidos na tentativa de auxiliar a resolução das equações de corrente termo estimulada (Capítulo II, item II.5). Por se tratar de situações muito complexas que requerem muito tempo de dedicação, até o momento, não foram feitas análises mais profundas a respeito; ficando como sugestão de continuação deste trabalho. Mesmo assim, estes controles foram desenvolvidos e testados, para que estivessem operacionais no momento apropriado de utilização.

Novamente, para o bom desempenho destes tipos de controle, o fator limitante são as restrições impostas pelo aquecedor utilizado. Nestes tipos de controle, para conseguir um bom desempenho de controle de temperatura, a região de maior elevação de temperatura não deve exceder um crescimento de 10°C/min. (Capítulo III, item III.1.a).

As Fig.V.3 e Fig.V.4 correspondem, respectivamente a exemplos de controle exponencial e controle logarítmico de temperatura, partindo da temperatura ambiente.

$$T(t) = Ta - 1 + e^{(kt)} \quad \text{(exponencial)}$$



Ta = 23,15 °C

k = 0,05

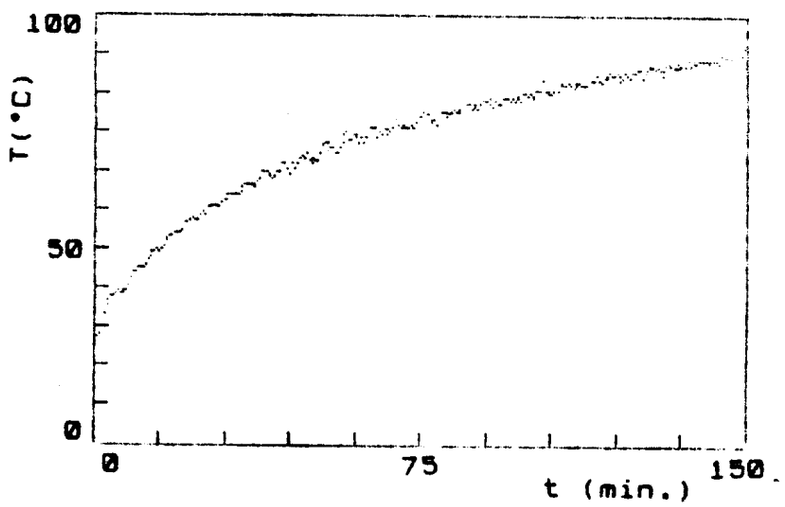
TF = 90 °C

TPO = 84,35 min.

TP = 190 pontos

Fig.V.3: Aquecimento Exponencial

$$T(t) = Ta * Ln(e + kt) \quad \text{(logarítmico)}$$



k = 0,3

TA = 26 °C

TF = 100 °C

TPO = 152,7 min.

TP = 300 pontos

Fig.V.4: Aquecimento Logarítmico

V.2 - Medidas Realizadas

Neste item serão apresentados, a título de ilustração, algumas das possíveis medidas de corrente elétrica, que podem ser obtidas através da utilização do sistema automatizado.

V.2.a - Corrente de Polarização em Circuito Fechado

Estas medidas foram realizadas com uma amostra de Policarbonato (Bisfenol A) (LEXAN$^{(R)}$), à temperatura constante de 70°C[15]. A curva superior e inferior correspondem à corrente obtida através de uma polarização com tensão igual a 30V e 5V, respectivamente.

Neste processo, para obter melhores detalhes da elevação da corrente no início do processo, as amostragens foram realizadas com diferentes concentrações de pontos, seguindo a seguinte sequência: 120 pontos no período entre 0 a 2 minutos (60 pontos/minuto); 120 pontos no intervalo entre 2 a 8 minutos (20 pontos/minuto); 88 pontos no intervalo entre 8 e 30 minutos (4 pontos/minuto).

A Curva final foi obtida através da transferência de dados via interface RS-232C entre um microcomputador Apple e um IBM/PC .

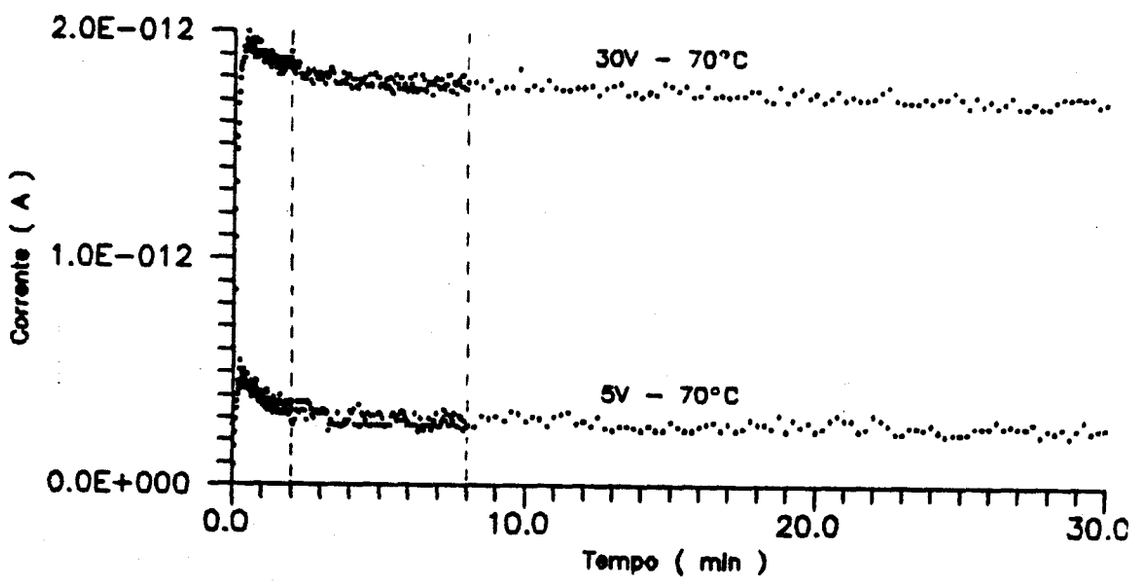
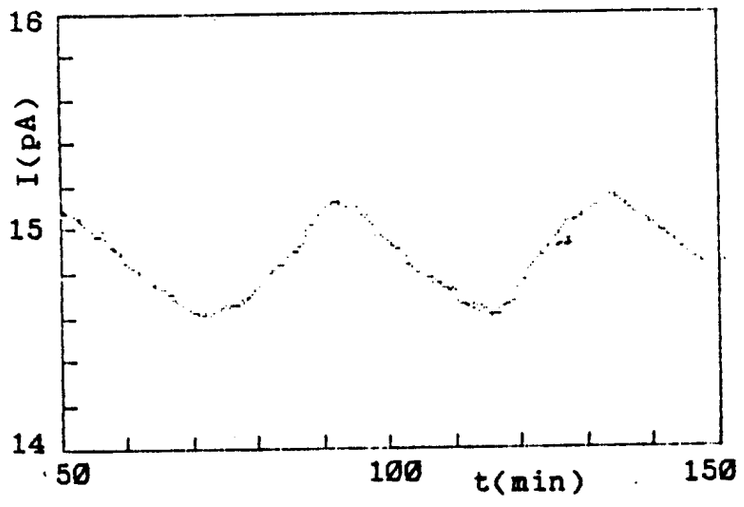


Fig.V.5: Correntes de Polarização de uma amostra de LEXAN$^{(R)}$, à temperatura constante 70°C.

V.2.b - Medida de Corrente Piroelétrica e Cálculo do Coeficiente Piroelétrico

Utilizou-se o controle senoidal de temperatura para aquecer uma amostra polarizada de PVDF tipo β que apresenta propriedade piroelétrica. O processo foi realizado em curto circuito e a temperatura foi mantida constante em 50°C, e a ela foi superposta uma senóide, de amplitude igual a 3°C e frequência de 4,0 10^{-4} Hz.

De acordo com a Fig.V.2.b, a amplitude da corrente piroelétrica é de aproximadamente 0,6pA. Substituindo este valor de amplitude na equação (II.24), obtem-se um coeficiente piroelétrico igual a 39 uC K^{-1} m^{-2}, correspondendo muito bem ao valor tabelado[16] para este material nesta temperatura (em torno de 40 uC K^{-1} m^{-2}).



$I = A\,p\,\frac{dT}{dt}$

Fig.V.6: Corrente Piroelétrica medida para uma amostra de PVDF a 50°C.

V.2.c - Corrente de Despolarização em Circuito Fechado

O conjunto de curvas da Fig.V.7 corresponde às correntes de despolarização em função da temperatura, para uma amostra de PVDF/HFP (95/5), em circuito fechado[17] (TSC). A

amostra de 70um, foi polarizada com uma tensão de 2520V e temperatura de 60°C, 50°C e 40°C (curvas (a), (b) e (c), respectivamente).

Neste caso, acrescentou-se no amplificador de leitura de corrente, uma tensão de "offset" (Capítulo III, item III.2.b) que, somado ao sinal de saída do eletrômetro, possibilitou a leitura tanto da corrente positiva quanto da negativa.

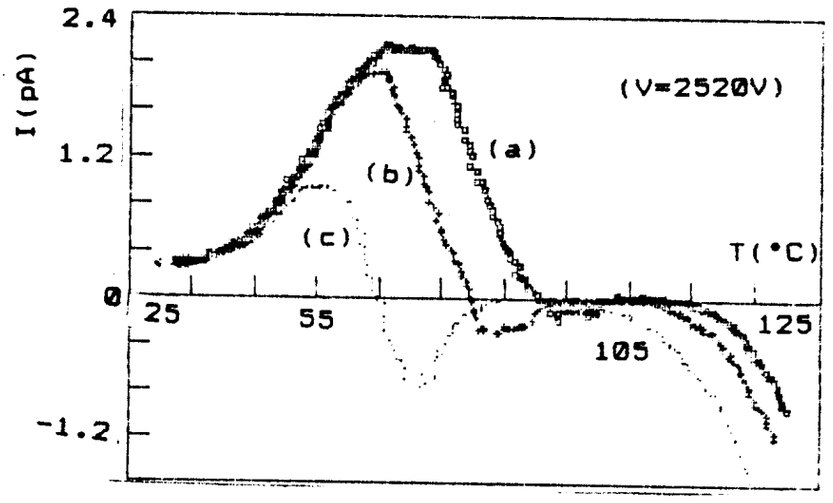


Fig.V.7: Correntes de Despolarização de uma amostra de PVDF/HFP, polarizada com V=2520V.

V.2.d - Descarga Termo Estimulada em Circuito Aberto

Uma amostra virgem de Mylar(R) de 25um de espessura, foi carregada, por descarga corona, com uma tensão de -500V e submetida a aquecimento linear (TSD) até que a corrente se anulasse. No final do TSD a amostra fica completamente descarregada. A corrente medida é mostrada na Fig.V.8.a.

Após a descarga TSD, a amostra foi resfriada rapidamente, novamente carregada por corona e submetida ao aquecimento (nas mesmas condições). A corrente medida neste novo aquecimento (Fig.V.8.b), apresentou um comportamento totalmente diferente do anterior. Isto pode ser justificado através do

conceito de volume livre[18]. Se a amostra é aquecida e depois resfriada rapidamente, o volume não volta a ser exatamente como era no início, alterando também os processos de polarização, de modo que sua contribuição numa nova descarga termo estimulada, não será mais a mesma.

Neste caso, o resfriamento controlado poderá contribuir para o estudo desta "histerese de volume".

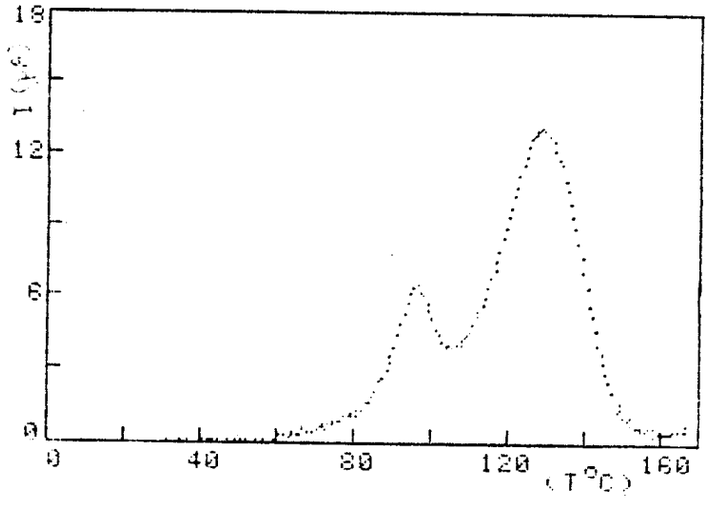


Fig.V.8.a: Descarga TSD de uma amostra virgem de Mylar(R)

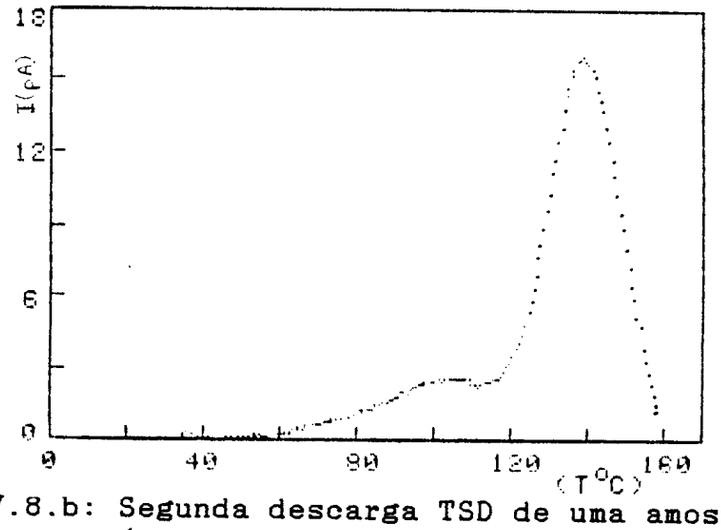


Fig.V.8.b: Segunda descarga TSD de uma amostra de Mylar(R), (pouco tempo após ter sido realizada a primeira)

SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO - IFQSC
FÍSICA

CAPITULO VI

DISCUSSOES E CONCLUSAO

Como foi mostrado neste trabalho, o sistema de controle foi utilizado nas mais diversas condições de trabalho. A experiência obtida com o uso deste sistema mostrou que as principais limitações não estão relacionadas com o circuito de controle e aquisição mas sim com a parte física do sistema de medida.

As fontes de erros do sistema são: A não linearidade do sensor de temperatura (termopar), pois a temperatura medida é comparada com uma função (ajustada previamente) que relaciona-a com a saída de tensão do termopar; a digitalização deste sinal de tensão, pois carrega o erro de quantização durante todo o controle; as flutuações nas fontes de alimentação e nos circuitos (variação de ganho dos amplificadores, por exemplo) que, embora não tenham sido comentadas anteriormente, contribuem com o erro total final. Entretanto, estes erros são desprezíveis comparados com o erro provocado pela inércia térmica dos aquecedores. A inércia térmica é responsável pelo atraso na resposta do aquecimento controlado (vide Capítulo V - comentários a respeito da resposta das funções de controle de temperatura).

A construção de sistemas de aquecimento com baixa inércia térmica e com resfriamento, deverá melhorar sensivelmente, o desempenho do sistema como um todo. O resfriamento poderá contribuir para melhorar o controle de temperatura sob oscilação senoidal, (podendo-se aumentar a amplitude e a frequência de oscilação da função referência de temperatura).

Os circuitos foram desenvolvidos de modo a tornar o

sistema o mais versátil possível de modo que, alterando-se o programa de controle, pode-se utilizá-lo para qualquer tipo de controle de temperatura, observando-se os limites de operação do aquecedor utilizado. As funções de controle foram descritas baseadas nos tipos de processos termo estimulados que se pode realizar e que se têm interesse no Grupo. A facilidade de operação deste sistema fez com que se abandonasse os métodos anteriores de controle de temperatura e aquisição de dados (controle analógico e aquisição manual de dados).

Além das aplicações de controle de temperatura e aquisição de dados, os circuitos permitem que se efetue aquisição e conversão de sinais analógicos, mesmo sem realizar controle de temperatura, desde que estes não tenham variações rápidas no tempo. Para isto deve-se, simplesmente alterar o programa de controle para efetuar as leituras conforme desejado.

A disponibilidade de microcomputadores da linha Apple no Grupo, propiciou a montagem de várias unidades deste sistema de controle e estes têm sido utilizados diariamente, para as mais variadas aplicações em tratamento térmico de polímeros.

CAPITULO VII

PROPOSTA DE TRABALHO FUTURO

Pela experiência adquirida com os sistemas até então construidos, acredita-se que não será necessário introduzir modificações significativas nos circuitos de controle e aquisição de dados. Para otimizar o funcionamento de um novo sistema, as modificações deverão ser introduzidas na construção dos aquecedores, por exemplo, a introdução de um resfriamento forçado poderá melhorar, significativamente, os controles de temperatura com variação senoidal.

Quanto aos aquecimentos não lineares, pode-se ainda analisar cuidadosamente, a resolução das equações de corrente e, caso necessário, alterar as equações de controle de temperatura. Visando esta possibilidade, os programas em linguagem de baixo nível estão detalhadamente explicados no capítulo IV e na listagem, os comentários explicam os procedimentos de cada instrução executada. Acreditamos que os aquecimentos não lineares poderão trazer inovações numa técnica ja amplamente utilizada em vários laboratórios de pesquisa.

Apêndice A

TERMOPAR

A partir das tabelas "°C x V(mV)" dos termopares do tipo J (Ferro x Constantan), do tipo K (Chromel x Alumel) e do tipo T (Cobre x Constantan) fornecidas pelos fabricantes, foi feita uma análise de linearidade das respectivas respostas, para valores de temperatura entre 0 e 300°C, em função da seguinte equação:

$$V\ [mV] = \frac{V(T=300°C)\ [mV]}{300\ \ [°C]} * T\ [°C] \qquad (A.1)$$

onde V(T=300°C) corresponde à tensão, nos terminais do termopar em análise, quando sua junção está submetida a uma temperatura igual a 300°C e T corresponde a uma temperatura que pode estar entre 0 e 300°C. Para esta aproximação, os resultados foram:

Tabela A.1 - Resultados da Análise de Linearidade dos termopares do tipo J, K e T.

Tipo de Termopar:	J	K	T
Maior Diferença ocorreu em T = ? (°C)	104	122	142
Diferença de Temperatura:(°C)	3,2	0,9	14,6
Diferença de Tensao: (mV)	0,181	0,045	0,7326
Erro: (%)	1,1	0,4	4,9

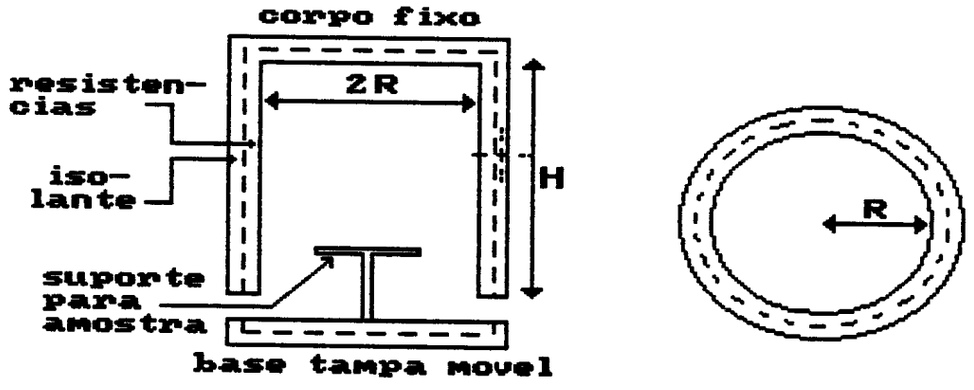
Pelos resultados da Tabela A.1, optou-se por trabalhar somente com o termopar do tipo K, por apresentar o comportamento mais linear entre os três tipos analisados. Deste modo, o erro máximo nas medidas, devido a linearização do termopar será de 0,37% sobre valores de temperatura entre 0 e 300°C.

Apêndice B

Aquecedores Utilizados para o Processo de Tratamento Térmico de Eletretos

Os aquecedores utilizados são diferentes entre si. Os dados referentes à potência, formato e dimensões de cada um estão relacionados abaixo:

- Aquecedor Nº 1 : FV-II (vacun clay) EDG



secção longitudinal secção transversal

Fig. B.1 - Aquecedor Nº1

Dimensões:

R = 4.5 cm H = 14 cm Vol = 890 cm^3.

Potência: 700 watts. 0.78 W/cm^3

Menor taxa de Aquecimento: 24°C/min,

Menor taxa de Resfriamento: 0.4°C/min.

As curvas deste aquecedor correspondem às Fig.B.3.a e B.3.b.

* Aquecedor Nº 2 : (montado NO DFCM/IFQSC)[7]

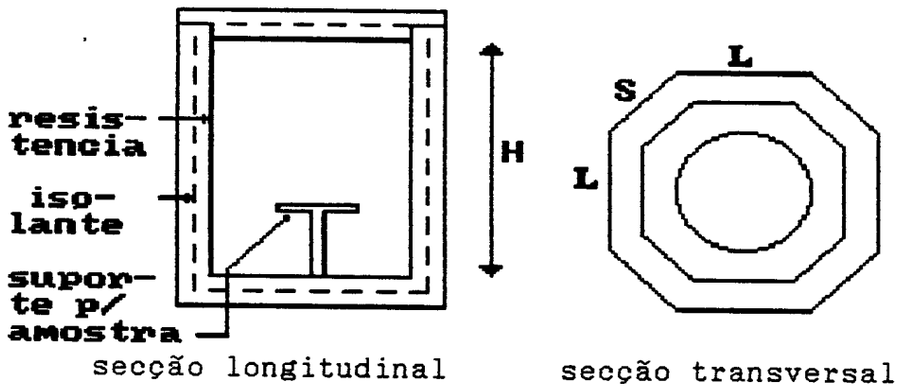


Fig. B.2 - Aquecedores Nº2

Dimensões:

S = 6 cm L = 7.5 cm H = 16 cm

Vol. = 3520 cm^3

Potência: 625 watts. 0.18 W/cm^3

Menor taxa de Aquecimento: 10°C/min,

Menor taxa de Resfriamento: 0.4°C/min.

As curvas deste aquecedor correspondem às Fig.B.4.a e B.4.b.

As curva apresentadas neste apêndice, correspondem ao aquecimento (a plena carga) dos aquecedores que foram utilizados neste projeto. Para cada um dos aquecedores, a curva (a) corresponde ao aquecimento, partindo da temperatura ambiente até 300°C, seguido pelo decaimento natual de temperatura (até a temperatura ambiente). As curvas (b) correspondem a uma ampliação da região de aquecimento.

OBS:- 1. O aquecedor Nº1 apresenta melhor desempenho nos controles (lineares ou não), por possuir menor volume interno (menor distância entre as resistências e a amostra) e maior potência.

2. Por problemas de isolação térmica, o aquecedor Nº2 dissipa muito calor, justificando a visível mudança de inclinação na curva da Fig.B.4.b. Como os controles de termperatura não são tão rápidos (menores que 6°C/min), é possível contornar este problema.

3. Como estes aquecedores não possuem refrigeração, o decaimento de temperatura é rápido somente para temperaturas bem altas e quanto mais próxima estiver da temperatura ambiente, menor será a inclinação da curva Temperatura [°C] x Tempo [min].

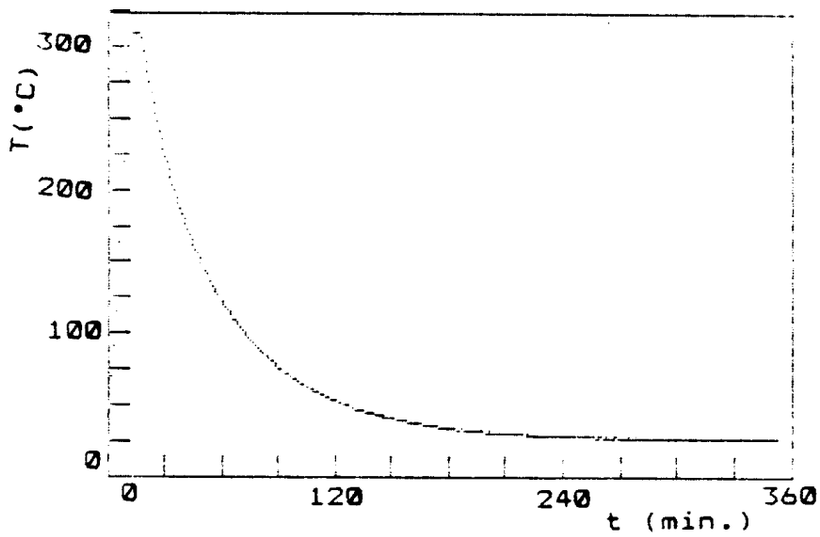


Fig.B.3.a - aquecimento e resfriamento natural do Aquecedor Nº 1

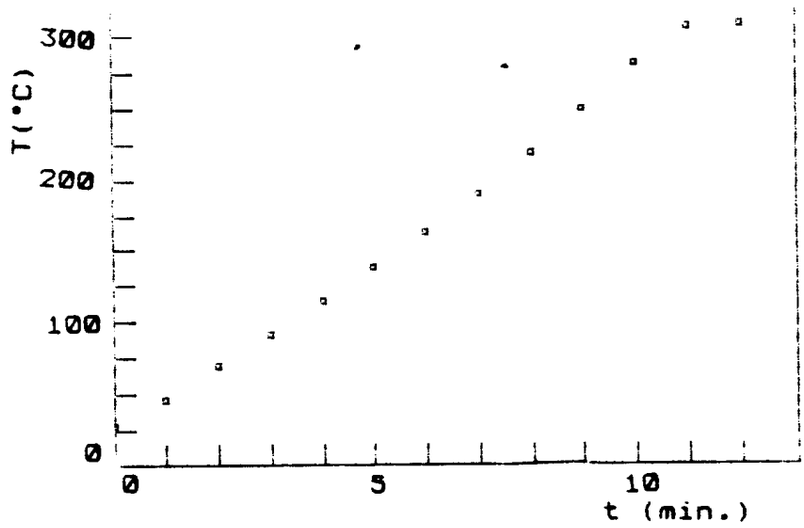


Fig.B.3.b - Ampliação do intervalo de aquecimento da Fig.B.3.a, (intervalo entre 0 e 13 minutos)

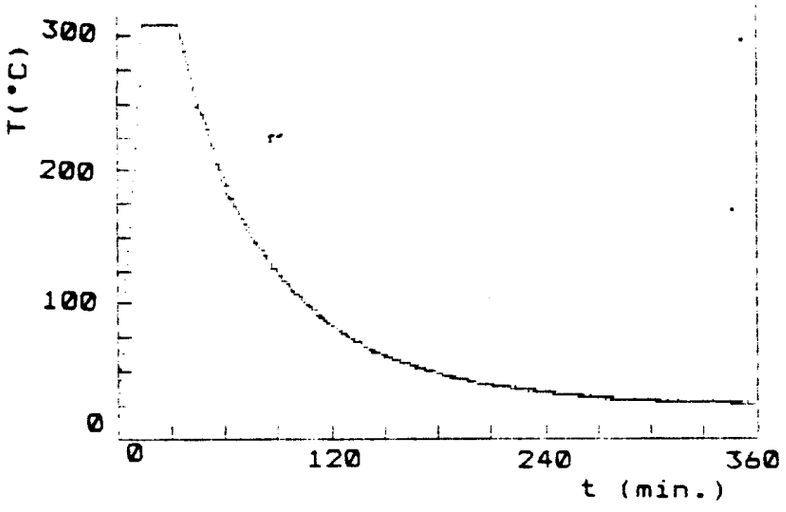


Fig.B.4.a - aquecimento e resfriamento natural do Aquecedor Nº 2

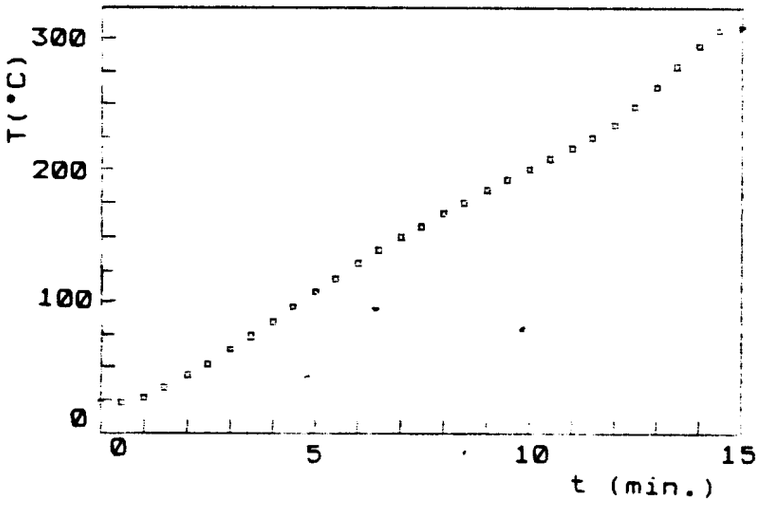


Fig.B.4.b - Ampliação do intervalo de aquecimento da Fig.B.4.a, (intervalo entre Ø e 15 minutos)

Apêndice C

Acesso Externo ao Apple

O Apple II-Plus é um microcomputador de 8 bits cujo microprocessador ou Unidade Central de Processamento - UCP é um MC6502, e tem capacidade de acessar 64k (2^{16} = 65536) posições. A comunicação do Apple com memórias e dados é feita através de três barramentos: de dados, de controle e de endereço.

O Duto de Dados é constituido por oito linhas bidirecionais, através das quais a UCP escreve ou lê nas posições endereçadas. O Duto de Controle é o conjunto de todas as linhas que enviam ou recebem sinais de controle da UCP. Por este duto, acessa-se o relógio de referência do Apple (1.024 MHz). O Duto de Endereços é composto por dezesseis linhas tri-estado que endereçam todas as posições que podem ser acessadas pela UCP. A configuração do Apple é por mapeamento de memória, isto é, dados e memórias são tratadas (endereçadas) da mesma forma. As 64K posições endereçáveis do Apple são divididas em blocos do seguinte modo[10]:

Tabela C.1 - ENDEREÇAMENTO DO APPLE

Posição de Endereço		USO	FUNÇÃO
Decimal	Hexadecimal		
0 - 255	$0 - $FF	RAM	programas do sistema
256 - 511	$100 - $1FF	RAM	pilha do sistema
512 - 767	$200 - $2FF	RAM	buffer de teclado
768 - 1023	$300 - $3FF	RAM	vetores do monitor
1024 - 2047	$400 - $7FF	RAM	pág.gráf.1 baixa resol.
2048 - 3071	$800 - $BFF	RAM	pág.gráf.2 baixa resol.
3072 - 8191	$C00 - $1FFF	RAM	livre
8192 - 16383	$2000 - $3FFF	RAM	pág.gráf.1 alta resol.
16384 - 24575	$4000 - $5FFF	RAM	pág.gráf.2 alta resol.
24576 - 49151	$6000 - $BFFF	RAM	livre
49152 - 49279	$C000 - $C07F	E/S	posições intern. espec.
49280 - 49407	$C080 - $C0FF	E/S	"slots"
49408 - 51199	$C100 - $C7FF	E/S	memória dos "slots"
51200 - 53247	$C800 - $CFFF	E/S	expansão memória (slot)
53248 - 65535	$D000 - $FFFF	ROM	Monitor e Applesoft

RAM: Na sua configuração básica, o Apple possui 48Kbytes de RAM nas quais pode-se armazenar os programas e as páginas gráficas (de alta e baixa resolução).

ROM: Nos 12 Kbytes de ROM encontra-se o interpretador BASIC ($D000 a $F7FF) e o programa Monitor ($F800 a $FFFF). Algumas das rotinas de tratamento das variáveis (em ponto flutuante e das rotinas matemáticas são utilizadas nos programas de controle de temperatura e de apresentação de resultados no monitor de vídeo.

E/S: As posições de Entrada/Saída estão configuradas como se fossem memória entretanto, o que existe nestas posições são circuitos dedicados que são habilitados ou inibidos quando acessa-se determinadas posições nesta região. As E/S ocupam 4Kbytes dos 64Kbytes do Apple e são divididas em dois blocos menores:

a. Posições Internas Especiais: é uma área com 128 posições reservadas para seleção de vídeo; modo texto ou gráfico (alta e baixa resolução), acesso ao gravador, teclado, auto-falante, e conector de jogos.

O conector de jogos é um soquete DIP de 16 pinos, normalmente utilizado para conectar "paddles" e "joysticks" ao Apple. Através dele pode-se acessar as chaves lógicas (CLx, x:0-3), onde cada uma possui dois endereços que definem seu estado em ligado (nivel lógico baixo; 0V) ou em desligado (nível alto; 5V). Uma vez alterado o seu estado, a chave permanecerá nele até que seja feito um acesso ao seu outro endereço (estado complementar). A pinagem do conector de jogos e o endereçamento de suas saídas, estão descritos nas tabelas abaixo[10]:

Tabela C.2 - PINAGEM DO CONECTOR DE JOGOS

Pino(s)	Nome	Descrição
1	+5	+5V
2 a 4	PBx	"Pushbutton". Entrada tipo TTL,
5	NSTR	"Strobe".Muda de estado durante acesso a uma posição entre $C040 a $C04F,
6,7,10 e 11	PDLx	Liga-se resistor variável ao monoestável interno do Apple, x:0 a 3,
8	GND	Terra (massa) do Apple,
9 e 16	NC	Não Conectado,
12 a 15	CLx	Saídas TTL, programáveis por "software", x:3 a 0,

As chaves lógicas foram utilizadas no projeto para selecionar a entrada analógica a ser convertida para digital e lida pela UCP e para controlar a liberação de potência para o aquecedor. A alteração do estado de cada chave é feita nos seguintes endereços[10]:

Tabela C.3 - ENDEREÇAMENTO DAS CHAVES LOGICAS

Chave	Estado	Endereço Decimal	End.Hex.
CL0	desligado	49240 ou -16296	$C058
CL0	ligado	49241 ou -16295	$C059
CL1	desligado	49242 ou -16294	$C05A
CL1	ligado	49243 ou -16293	$C05B
CL2	desligado	49244 ou -16292	$C05C
CL2	ligado	49245 ou -16291	$C05D
CL3	desligado	49246 ou -16290	$C05E
CL3	ligado	49247 ou -16289	$C05F

b. "Slots": Os "slots" são conectores do tipo Winchester de 50 pinos cada, espaçados de 1/10 polegada, nos quais conecta-se as placas de interface entre o Apple e outros dispositivos periféricos. O Apple possui oito "slots" (numerados de "0" a "7"), cuja pinagem e função é a seguinte[10]:

Tabela C.4 - PINAGEM DOS "SLOTS" DO APPLE

pino	Nome	Descrição
1 20 41	I/O IOSTB DS	(I/O Select, I/O Strobe e Device Select) ativos em nível baixo quando é acessada uma posição CNxx onde N é o número do slot (para I/O), Cxxx onde xxx: $800 a $FFF (para IOSTB) e C0Nx com N = número do slsot + 8 (para DS). Obs: I/O não disponível para slot0
2a17	A0:A15	barramento de endereço do Apple
18	R/W	linha de leitura (=1) e escrita (=0)
19	SYNC	saída de sincronismo de vídeo (slot7)
21	RDY	Quando ="0", coloca a UCP em estado de espera
22 24 27	DMA DMA-OUT DMA-IN	linhas de acesso direto à memória, que quando ativo, mantém o barramento de endereços em tri-estado.
23 28	INT-OUT INT-IN	solicitação de interrupção de ou para o respectivo slot
25 26 33 34 50	+5V GND -12V -5V +12V	até 500 mA até 200 mA até 200 mA até 250 mA
29 30	NMI IRQ	linhas de solicitação de interrupção não mascarável e mascarável, respectivamente
31	RES	linha de "RESET" para a UCP
32	INH	linha de inibição das ROM's do Apple
35	COLOR-REF	sinal de referência de cor para vídeo.(slot7)
36 37 38 40	7M Q3 ϕ_1 ϕ_0	sinal de relógio de 7MHz sinal de relógio de 2MHz assimétrico sinal de relógio de 1MHz, defasado 180°de ϕ_0 relógio da UCP (1MHz)
39	USER_1	desabilita toda decodificação interna de I/O quando em nível baixo ("0")
42a49	D0 a D7	barramento bidirecional de dados

Utilizou-se o slot-2 para conectar a Placa Interface do sistema ao Apple. A habilitação deste é feito através de acesso a um endereço entre $C0A0 a $C0AF (habilitação ligada ao pino 41 - DS). Esta linha, em conjunto com os 2 bits menos

significativos do endereçamento, geram as habilitações internas da Placa Interface.

Utilizou-se a saída de relógio ϕ_0 (pino 40 - 1MHz) para a geração do relógio do sistema (250ms). A alimentação da Placa Interface é feita através do acesso às fontes do Apple pelo slot.

APENDICE D

LISTAGENS DOS PROGRAMAS CTRL.BAS E CTRL.ASM

CTRL.BAS

```
1  REM  * Controle de Temperatura
2  REM  * e Aquisicao de Dados
3  REM  *        CTRL.BAS
4  REM  * Mirian Nakandakari Jaime
5  REM  * Grupo de Eletretos Prof.B.Gross
6  REM
8  PRINT  CHR$ (4)"BLOAD CTRLASM"
7  REM       ** DIMENSIONAMENTO DAS VARIAVEIS E DA MEMORIA  **

10  LOMEM: 24576: HIMEM: 38400: DIM T(1000),C(1000)
19  REM  **     APRESENTACAO     **
20  POKE 32,0: POKE 33,40: POKE 34,0: POKE 35,24: HTAB 3: VTAB
    7
30  HOME : INVERSE :C$ = "          ": FOR I = 1 TO 30: PRINT C$
    ;: NEXT :D$ = "    ": FOR I = 1 TO 18: PRINT D$: NEXT
40  HTAB 3: VTAB 2: PRINT " CONTROLADOR  DE  TEMPERATURA  PARA
    ": HTAB 3: VTAB 4: PRINT " TRATAMENTO  TERMICO  DE  POLIM
    EROS"
50  HTAB 2: VTAB 6: PRINT "E": HTAB 2: VTAB 8: PRINT "L": HTAB
    2: VTAB 10: PRINT "E"
60  HTAB 2: VTAB 12: PRINT "T": HTAB 2: VTAB 14: PRINT "R": HTAB
    2: VTAB 16: PRINT "E"
70  HTAB 2: VTAB 18: PRINT "T": HTAB 2: VTAB 20: PRINT "O": HTAB
    2: VTAB 22: PRINT "S"
80  NORMAL : POKE 32,3: POKE 33,37: POKE 34,6: POKE 35,22: HOME

89  REM  **     AJUSTES          **
90  PRINT " Amplif.Temperatura com Ganho para: ": PRINT " ";: INVERSE
: PRINT "<1>";: NORMAL : PRINT " 200gr.C     ";: INVERSE : PRINT
    "<2>";: NORMAL : PRINT " 300gr.C  ";: GET MT: PRINT MT: ON
    MT GOTO 92,94
92 MT = 200:AV = 340: GOTO 100
94 MT = 300:AV = 265.5
100  PRINT : INPUT " Fundo Escala do Eletrom.(pA) = ";FEE
109  REM  **     FATORES DE CONVERSAO   **
110 FI = 60 / .25:FT = 8E - 3 / 200 * AV * 3 * 1024 / 10:FC =
    1030 / FEE:AR = .5:DC = 10:CT = 100
119  REM  **     OPCAO DE CONTROLE   **
120  HOME : PRINT : PRINT "  Tipos de Controle de Temperatura:
    ": PRINT
130  PRINT " ";: INVERSE : PRINT "1";: NORMAL : PRINT " - Line
    ar T(t) = Ta + k(i)t": PRINT
140  PRINT " ";: INVERSE : PRINT "2";: NORMAL : PRINT " - Seno
    id.T(t) = Ta+k(i)t+Asen(wt)": PRINT
150  PRINT " ";: INVERSE : PRINT "3";: NORMAL : PRINT " - Expo
    n. T(t) = Ta - 1 + exp(kt)": PRINT
160  PRINT " ";: INVERSE : PRINT "4";: NORMAL : PRINT " - Loga
    r. T(t) = Ta * Ln(e + kt) ": PRINT
170  PRINT "    Entre sua Opcao  (1 a 4) ";: GET TC: PRINT TC:
     PRINT : IF (TC = 0 OR TC > 4) THEN 80
180  POKE 32,0: POKE 33,40: POKE 34,0: POKE 35,24: HTAB 3: VTAB
    7: HOME : INVERSE : FOR I = 1 TO 15: PRINT C$;: NEXT : HTAB
    3: VTAB 2
189  REM  **     ENDEREGOS PARA ASSEMBLY   **
190 ET = 112: ON TC GOTO 200,210,220,230
200 EA = 55:EC = 142: PRINT "   CONTROLE LINEAR DE TEMPERATU
```

```
     ": PRINT : NORMAL : PRINT : PRINT "    T(t) = T(i-1) + k(
     i)t": PRINT : GOTO 235
210 EA = 63:EC = 153: PRINT "  CONTROLE SENOIDAL DE TEMPERATUR
     A": PRINT : NORMAL : PRINT : PRINT "    T(t) = T(i-1) + k(
     i)t + Asen(2pift)": PRINT : GOTO 235
220 EA = 71:EC = 195: PRINT " CONTROLE EXPONENCIAL DE TEMPERAT
     URA": PRINT : NORMAL : PRINT : PRINT "    T(t) = Ta - 1 +
     exp(kt)": GOTO 235
230 EA = 94:EC = 225: PRINT " CONTROLE LOGARITMICO DE TEMPERAT
     URA": PRINT : NORMAL : PRINT : PRINT "    T(t) = Ta * Ln(
     e + kt)": PRINT
235  POKE 32,0: POKE 33,40: POKE 34,6: POKE 35,17: HOME : PRINT

239  REM  **     TEMPERATURA ATUAL  **
240  POKE 12,148: POKE 11,EA:TA =  USR (0):TF(0) =  INT (TA /
     FT * CT + AR) / CT: PRINT " Temper.Amostra ="TF(0): PRINT
     : ON TC GOTO 260,250,310,310
249  REM  **     ENTRADA DE PARAMETROS    **
250  INPUT " A = ";A: INPUT " f = ";F:A = A * FT:F = F * 2 * 3
     .1416 / FI * 60
260  PRINT " O processo sera'realizado em": INPUT " Quantos In
     tervalos? ";NI: PRINT
270  FOR I = 1 TO NI: PRINT " k("I;: INPUT ") = ";K(I): PRINT
     : IF K(I) > 0 THEN 290
280  PRINT " Tempo em ("I;: INPUT ") = ";TPO(I):TF(I) =  INT (
     (TF(I - 1) + K(I) * TPO(I)) * CT + AR) / CT: IF TF(I) > M
     T THEN 800
285  PRINT " Temper.Final em ("I") = "TF(I): GOTO 300
290  PRINT " Temper.Final em ("I;: INPUT ") = ";TF(I): IF TF(I
     ) > MT THEN 800
295 TPO(I) =  INT ((TF(I) - TF(I - 1)) / K(I) * CT + AR) / CT:
      PRINT " Tempo em ("I") = "TPO(I)
300 TPO(I) = TPO(I) + TPO(I - 1): PRINT " No.de Pontos em ("I,
     : INPUT ") = ";NP(I):PO = PO + NP(I):K(I) = K(I) / FI * F
     T: NEXT : IF PO > 1000 THEN 820
305  GOTO 350
310 NI = 1: INPUT " k = ";K(1): INPUT " Temper.Final = ";TF(1)
     : IF TF(1) > MT THEN 800
315  IF TC = 4 THEN 330
320 TPO(1) =  INT (( LOG (TF(1) - TF(0) + 1)) / K(1) * CT + AR
     ) / CT: GOTO 340
330 TPO(1) =  INT (( EXP (TF(1) / TF(0)) - 2.71828183) / K(1) *
     CT + AR) / CT
340  PRINT " Tempo Neces.= "TPO(1): INPUT " No.de Pontos no Pr
     ocesso = ";NP(1):PO = NP(1):K(1) = K(1) / FI: IF PO > 100
     0 THEN 820
350  PRINT : PRINT " O Processo durara' "TPO(NI)" minutos": PRINT
     " e tera' "PO" pontos": PRINT
355  FOR I = 1 TO 2000: NEXT
360  HOME : PRINT " Arquivos de Dados:": PRINT : PRINT " (1) -
      Temperat.x tempo   (nome).TT": PRINT " (2) - Corrente x
     tempo   (nome).CT": PRINT " (3) - Temperat.x Corrente(nom
     e).TC"
370  PRINT " (4) - (1), (2) e (3)     (nome).**": PRINT " (5)
     - temp.xTemper.xCorr.(nome).TTC": GET GA: PRINT " opcao "
     GA: INPUT " Nome do(s) arquivo(s) = ";NA$: PRINT
380  HOME : PRINT  SPC( 5)"(T)abular" SPC( 5)"(G)rafica
     ";: GET R$: PRINT : IF R$ = "T" THEN  PRINT  SPC( 7)"Tabu
     lar"
390  IF R$ = "G" THEN  PRINT  SPC( 21)"Grafica"
400  IF R$ <  > "T" THEN  IF R$ <  > "G" THEN  GOTO 380
410  FOR I = 1 TO NI
420 MP(I) = (TPO(I) - TPO(I - 1)) / NP(I):A(I) = TPO(I - 1):B(
     I) = TPO(I) -  INT (MP(I) * CT + AR) / CT:B(NI) = TPO(NI)
     :SC(I) = FI * MP(I) - 1: NEXT
437  ONERR  GOTO 680
```

SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO - IFQSC
FÍSICA

```
440  HOME : IF R$ = "T" THEN 470
441  REM  **     OPCAO GRAFICA    **
443 X1 = 279 / TPO(NI): FOR I = 1 TO NI: IF Y0 < TF(I) THEN Y0
     = TF(I)
444  NEXT :Y1 = 144.5 / Y0:Y2 = 144.5 / FEE
445  PRINT " Apresentacao Grafica": PRINT : PRINT " Eixo de Te
     mperatura = "Y0" + "Y0 / 10" graus": PRINT " com divisoes
      de "Y0 / 5" graus": PRINT : PRINT " Eixo de Corrente = "
     FEE" + "FEE / 10" pA": PRINT " com divisoes de "FEE / 5"
     pA"
446  PRINT : PRINT " Eixo de tempo = "TPO(NI)" minutos ": PRINT
     " com divisoes de "TPO(NI) / 5" minutos"
447  PRINT : PRINT " Pronto para iniciar? (S)im ": GET G$: IF
     G$ <  > "S" THEN 447
450  HGR : POKE  - 16304,0: POKE  - 16301,0: HCOLOR= 3: HPLOT
     0,0 TO 0,159 TO 279,159 TO 279,0 TO 0,0: FOR I = 0 TO 5:X
      = I * 29.09:Y = I * 55.9: HPLOT 0,(159 - X) TO 3,(159 -
     X): HPLOT Y,156 TO Y,159: NEXT
460  PRINT 32,0: POKE 33,40: POKE 34,21: POKE 35,23: HOME
470  FOR I = 1 TO NI: POKE 12,148: POKE 11,ET:NADA =  USR (1)A
     ,F,K(I)
480  FOR J = A(I) TO B(I) STEP MP(I):PA = PA + 1: POKE 12,148:
      POKE 11,EC:T(PA) =  USR (2):T(PA) = T(PA) / FT: POKE 12,
     149: POKE 11,97:C(PA) =  USR (0):C(PA) = C(PA) / FT
481  IF R$ = "T" THEN 500
490  HPLOT (J * X1),(159 - T(PA) * Y1)
495  HPLOT (J * X1),(159 - C(PA) * Y2)
500  PRINT  INT (J * CT + AR) / CT, INT (T(PA) * CT + AR) / CT
     , INT (C(PA) * CT + AR) / CT
510  FOR K = 1 TO SC(I): POKE 12,148: POKE 11,EC:T =  USR (4):
      NEXT : NEXT : NEXT
528  REM  **     GRAVACAO DE ARQUIVOS  **
529  ONERR  GOTO 680
530 D$ =  CHR$ (4):L = 0: ON GA GOTO 540,570,600,540,630
540  PRINT D$"OPEN"NA$".TT": PRINT D$"WRITE"NA$".TT": PRINT PA
     : FOR I = 1 TO NI: IF NP(I) = 0 THEN 560
550  FOR J = A(I) TO B(I) STEP MP(I):L = L + 1: PRINT J: PRINT
     T(L): NEXT
560  NEXT : PRINT D$"CLOSE"NA$".TT": IF GA <  > 4 THEN 660
570 L = 0: PRINT D$"OPEN"NA$".CT": PRINT D$"WRITE"NA$".CT": PRINT
     PA: FOR I = 1 TO NI: IF NP(I) = 0 THEN 590
580  FOR J = A(I) TO B(I) STEP MP(I):L = L + 1: PRINT J: PRINT
     C(L): NEXT
590  NEXT : PRINT D$"CLOSE"NA$".CT": IF GA <  > 4 THEN 660
600 L = 0: PRINT D$"OPEN"NA$".TC": PRINT D$"WRITE"NA$".TC": PRINT
     PA: FOR I = 1 TO NI: IF NP(I) = 0 THEN 620
610  FOR J = A(I) TO B(I) STEP MP(I):L = L + 1: PRINT T(L): PRINT
     C(L): NEXT
620  NEXT : PRINT D$"CLOSE"NA$".TC": GOTO 660
630 L = 0: PRINT D$"OPEN"NA$".TTC": PRINT D$"WRITE"NA$".TTC": PRINT
     PA: FOR I = 1 TO NI: IF NP(I) = 0 THEN 650
640  FOR J = A(I) TO B(I) STEP MP(I):L = L + 1: PRINT J: PRINT
     T(L): PRINT C(L): NEXT
650  NEXT : PRINT D$"CLOSE"NA$".TTC"
660  END
680 ER =  PEEK (222): TEXT : POKE 32,0: POKE 33,40: POKE 34,2
      POKE 35,24: HOME : PRINT " Erro No. "ER
682  IF ER <  > 255 THEN 690
684  PRINT " Deseja salvar os dados obtidos?": PRINT " (S)im o
     u (N)ao ": GET SD$: IF SD$ <  > "S" THEN  END
686  PRINT " Vai mudar o nome do Arquivo?": PRINT " (S)im ou
     N)ao ": GET M$: IF M$ <  > "S" THEN  GOTO 529
688  INPUT " Novo Nome para o Arquivo ";NA$: GOTO 529
690  PRINT D$"CLOSE": IF ER <  > 4 THEN  IF ER <  > 8 THEN  IF
     ER <  > 9 THEN 696
692  PRINT " Disco Protegido ou ": PRINT " Driver Aberto
     " ------ "                    " ------ "
```

```
     o ": PRINT " Verifique e tecle <P> quando": PRINT " est
     er Pronto": GET P$: IF P$ <  > "P" THEN 692
694  IF P$ = "P" THEN  GOTO 688
696  IF ER <  > 10 THEN 700
698  PRINT " Arquivo Travado ": PRINT " Mude o Nome do Arquivo
      ": GOTO 688
700  IF ER = 13 THEN  PRINT " Existe outro Arquivo com ": PRINT
     " mesmo nome, mas de tipo diferente": PRINT " Renomeie-o
     ": GOTO 688
799  END
800  FLASH : HOME : PRINT " TEMPERATURA FINAL": PRINT " MAIOR
     QUE LIMITE DO": PRINT " AMPLIFICADOR DE TEMPERATURA": PRINT
     " REDIMENSIONE": NORMAL : FOR I = 1 TO 3000: NEXT : GOTO
     10
820  FLASH : HOME : PRINT " NUMERO TOTAL DE PONTOS": PRINT " M
     AIOR QUE LIMITE (1000)": PRINT " REDIMENSIONE": NORMAL : FOR
     I = 1 TO 3000: NEXT : GOTO 10
```

```
.6502

.PHASE $9437

; ***********************************************
; *                                             *
; *              PROGRAMA CTRL.ASM              *
; *                                             *
; *           CONTROLADOR DE TEMPERATURA        *
; *                                             *
; *      Controle Linear:                       *
; *      T(t) = Ta + k(i)t      , i=1           *
; *      T(t) = T(i-1) + k(i)t  , 1>i>NI        *
; *                                             *
; *      Controle Senoidal:                     *
; * T(t) = Ta + k(i)t + Asen(2pift), i=1        *
; * T(t) = T(i-1) + k(i)t + Asen(2pift), 1>i>NI *
; *                                             *
; *      Controle Exponencial:                  *
; *      T(t) = (Ta - 1) + exp(kt)              *
; *                                             *
; *      Controle Logaritmico:                  *
; *      T(t) = Ta * Ln(e + kt)                 *
; *                                             *
; *                                             *
; *          PROGRAMA BASIC: CTRL.BAS           *
; *      VERSAO 5.B  -  DATA Outubro/1989       *
; *                                             *
; *           Mirian Nakandakari Jaime          *
; *   Grupo de Eletretos "Prof.Bernhard Gross"  *
; *                                             *
; ***********************************************

; OBS:- Os calculos sao realizados em ponto
; flutuante. Sendo assim, sao necessarios 5 bytes
; de memoria para armazenar cada valor (modo de
; operacao do Apple). As operacoes sao feitas,
; principalmente com os acumuladores de ponto
; flutuante, denominados de "F1" e "F2", e pelos
; conjuntos de registradores "YA" e "YX", onde o
; 1o. contem o byte mais significativo e o 2o. o
; byte menos significativo do endereco inicial da
; posicao de memoria onde se encontra o operando.


; ***********************************
; * ENDERECOS ESPECIAIS DO PROGRAMA *
; ***********************************

0094    EAP     EQU     $94 ; endereco programa (MSB)
0000    K       EQU     $00 ; endereco de k(i)  (MSB)
0005    KT      EQU     $05 ; endereco de kt    (LSB)
000A    TT      EQU     $0A ; endereco de T(t)  (LSB)
000F    TM      EQU     $0F ; ender.da T(medida)(LSB)
```

```
0014    TA        EQU    $14 ; ender.da Temp.Am. (LSB)
0019    A         EQU    $19 ; ender.da Ampl.seno(LSB)
001E    W         EQU    $1E ; ender.de 2pif seno(LSB)
0023    WT        EQU    $23 ; ender.de 2pift sen(LSB)
0028    UMGRAU    EQU    $28 ; endereco de 1grau (LSB)
002D    MEUMGR    EQU    $2D ; endereco de -1grau(LSB)
0032    NEPER     EQU    $32 ; ender.de(2.718282)(LSB)
00ED    AUX       EQU    $ED ; posicao memoria auxil.
0050    RES       EQU    $50 ; result.conv.p/ inteiro


        ; ****************************************
        ; * POSICOES INTERNAS ESPECIAIS (APPLE) *
        ; ****************************************

C0A0    RELOG     EQU    $C0A0 ; habil.leit. relogio
C0A1    HABCAD    EQU    $C0A1 ; habil.inic. conversao
C0A2    LSB       EQU    $C0A2 ; habil.leit. dos 8 LSB
C0A3    MSB       EQU    $C0A3 ; habil.leit. dos 2 MSB
C058    DESLIG    EQU    $C058 ; desliga o aquecedor
C059    LIGA      EQU    $C059 ;    liga o aquecedor
C05A    DV1       EQU    $C05A ; desl.ch.an.(CL1) entr.1
C05B    LV1       EQU    $C05B ; liga ch.an.(CL1) entr.1
C05C    DV2       EQU    $C05C ; desl.ch.an.(CL2) entr.2
C05D    LV2       EQU    $C05D ; liga ch.an.(CL2) entr.2
C05E    DV3       EQU    $C05E ; desl.ch.an.(CL3) entr.3
C05F    LV3       EQU    $C05F ; liga ch.an.(CL3) entr.3

        ; OBS: Somente a conversao do sinal da entrada
        ; analogica "1" e' sincrona com o relogio.


        ; ****************************
        ; * ROTINAS INTERNAS DO APPLE *
        ; ****************************

DD7B    RSEXPR    EQU    $DD7B ; Resolve expres.da linha
                               ; BASIC. Resultado em F1.
DEBE    VIRGUL    EQU    $DEBE ; Espera por uma virgula
                               ; para prosseguir.
E2F2    YACPF     EQU    $E2F2 ; Converte cont. da pos.
                               ; indicada por YA p/ ponto
                               ; flut. Resultado em F1.
E752    F1CINT    EQU    $E752 ; converte conteudo F1 em
                               ; int. Resultado em RES.
FCA8    DELPRG    EQU    $FCA8 ; Delay interno (Apple)
                               ; (5A^2 + 27A + 26)/2 us
E9E3    TF2YA     EQU    $E9E3 ; Transfere p/ F2 conteudo
                               ; da posic. indic. por YA.
E7AA    F2MF1     EQU    $E7AA ; Calcula F2 menos F1.
                               ; Resultado em F1.
EFF1    SENO      EQU    $EFF1 ; Calcula seno de F1.
EF09    EXPO      EQU    $EF09 ; Calcula exp de F1.
E941    LOGN      EQU    $E941 ; Calcula Ln de F1.
```

```
                    ; ***********************************************
                    ; * LEITURA DA TEMPERATURA INICIAL DA AMOSTRA *
                    ; * E ACERTO DO VALOR INICIAL DE T(t=0)  PARA *
                    ; * CADA FUNCAO DE REFERENCIA DE  TEMPERATURA *
                    ; ***********************************************

9437   20 9572   TALIN:   JSR LEV1
943A   A2 0A               LDX #TT        ; armazena Ta como T(t=0)
943C   4C 9538             JSR YXF1       ; volta para BASIC com Ta

943F   20 9572   TASENO:  JSR LEV1
9442   A2 14               LDX #TA        ; armazena Ta em seu lugar e
9444   4C 9538             JMP YXF1       ; volta para BASIC com Ta

9447   20 9572   TAEXPO:  JSR LEV1
944A   A2 1E               LDX #W         ; usa w como endereco auxiliar
944C   20 9538             JSR YXF1
944F   A9 14               LDA #TA
9451   85 ED               STA AUX
9453   A9 2D               LDA #MEUMGR    ; -1 grau Celsius
9455   20 9531             JSR SF1YA      ; calcula (Ta - 1)
9458   A9 1E               LDA #W         ; recup.end.que gardou Ta
945A   20 952A             JSR F1YA
945D   60                  RTS            ; retorna p/ BASIC com Ta

945E   A9 32     TALOGN:   LDA #NEPER     ; valor de e (No.de Neper)
9460   20 952A             JSR F1YA
9463   A2 05               LDX #KT
9465   20 9538             JSR YXF1       ; kt(0) = 1
9468   20 9572             JSR LEV1       ; le Temperatura da Amostra
946B   A2 14               LDX #TA
946D   4C 9538             JMP YXF1       ; Volta com Ta (Ta = Ta)


                    ; ***********************************************
                    ; * TRANSFERENCIA DE DADOS (BASIC -> ASSEMBLY) *
                    ; ***********************************************

9470   20 DD7B   TRESPA:  JSR RSEXPR     ; tres parametros somente
9473   A2 19               LDX #A                 ; para controle senoide
9475   20 9538             JSR YXF1       ; le e armazena A
9478   20 DEBE             JSR VIRGUL     ; procura virgula
947B   20 DD7B             JSR RSEXPR     ; frequencia do seno
947E   A2 1E               LDX #W
9480   20 9538             JSR YXF1       ; armazena em w
9483   20 DEBE             JSR VIRGUL     ; procura virgula
9486   20 DD7B   UMPAR:    JSR RSEXPR       ; taxa de controle
9489   A2 00               LDX #K                 ; p/ todo tipo de ctrl
948B   4C 9538             JMP YXF1       ; armaz.taxa e volta.
```

```
                ; ***********************************************
                ; * GERACAO DA FUNCAO DE CONTROLE DE AQUECIMENTO *
                ; ***********************************************

948E   A9 00    LINEAR:  LDA #K          ; le k(i)
9490   20 952A           JSR F1YA
9493   A9 0A             LDA #TT
9495   20 952F           JSR SAF1YA    ; T(t) = Ta + k(i)t
9498   4C 94F8           JMP CTRL      ; vai para o controlador

949B   A9 00    SENOID:  LDA #K          ; le k(i)
949D   20 952A           JSR F1YA
94A0   A9 14             LDA #TA
94A2   20 952F           JSR SAF1YA    ; Ta + k(i)t
94A5   A9 1E             LDA #W                ; w = 2pif
94A7   20 952A           JSR F1YA
94AA   A9 23             LDA #WT               ; wt = 2pift
94AC   20 952F           JSR SAF1YA    ; incrementa wt
94AF   20 EFF1           JSR SENO      ; calcula sen(wt)
94B2   A9 19             LDA #A                ; amplitude
94B4   20 954B           JSR MULT      ; calcula A*sen(wt)
94B7   A9 0A             LDA #TT
94B9   85 ED             STA AUX
94BB   A9 14             LDA #TA       ; le Ta + k(i)t
94BD   20 9531           JSR SF1YA     ; T(t) = Ta + k(i)t + Asen(wt)
94C0   4C 94F8           JMP CTRL      ; vai para o controlador

94C3   A9 00    EXPONE:  LDA #K
94C5   20 952A           JSR F1YA
94C8   A9 05             LDA #KT
94CA   20 952F           JSR SAF1YA    ; incrementa kt
94CD   20 EF09           JSR EXPO      ; calcula exp(kt)
94D0   A9 28             LDA #UMGRAU
94D2   20 954B           JSR MULT      ; converte e(kt) para graus
94D5   A9 0A             LDA #TT
94D7   85 ED             STA AUX
94D9   A9 14             LDA #TA               ; (Ta - 1)
94DB   20 9531           JSR SF1YA     ; T(t) = (Ta-1) + exp(kt)
94DE   4C 94F8           JMP CTRL

94E1   A9 00    LOGARI:  LDA #K
94E3   20 952A           JSR F1YA
94E6   A9 05             LDA #KT
94E8   20 952F           JSR SAF1YA    ; incrementa kt
94EB   20 E941           JSR LOGN      ; Ln(e + kt)
94EE   A9 14             LDA #TA
94F0   20 954B           JSR MULT      ; T(t) = Ta * Ln(e+kt)
94F3   A2 0A             LDX #TT               ; armazena T(t) e
94F5   20 9538           JSR YXF1      ; vai direto para controle


                ; ****************************
                ; * CONTROLE DE TEMPERATURA *
                ; ****************************
```

```
94F8    20 9572 CTRL:    JSR LEV1        ; senao le T(med)
94FB    A2 0F            LDX #TM
94FD    20 9538          JSR YXF1        ; armazena o valor lido
9500    A9 0A            LDA #TT                 ; e calcula a diferenca
9502    20 953D          JSR DF2F1     ; entre T(t) e T(med)
9505    30 16            BMI VOLTA
9507    F0 14            BEQ VOLTA     ; se T(med) >= T(t), volta
9509    0A               ASL           ; senao, multiplica por 2,
950A    85 ED            STA AUX                 ; armazena,
950C    8D C059          STA LIGA      ; liga o aquecedor
950F    A2 04   DELAY:   LDX #$04          ; e mantem ligado por
9511    A0 FF   LOOP2:   LDY #$FF      ; t = 4(2*DIF + 1) ms
9513    88      LOOP3:   DEY
9514    D0 FD            BNE LOOP3
9516    CA               DEX
9517    D0 FA            BNE LOOP3
9519    C6 ED            DEC AUX
951B    D0 F2            BNE DELAY
951D    8D C058 VOLTA:   STA DESLIG    ; depois desliga a carga
9520    A9 0F            LDA #TM
9522    4C 952A          JMP F1YA      ; volta p/ BASIC c/ T(med)


                ; ******************
                ; * LEITURA DE T(t) *
                ; ******************

9525    A9 0A   LETT:    LDA #TT         ;
9527    4C 952A          JMP F1YA        ; le T(t) e volta


                ; ***********************
                ; * SUBROTINAS DO APPLE *
                ; ***********************


                ; F1YA: F1 <- (YA)
                ; entrada: LSB endereco do conteudo p/ transf. em A
                ; resultado: em F1

952A    A0 94   F1YA:    LDY #EAP
952C    4C EAF9          JMP $EAF9


                ; SAF1YA: (YA) <- F1 + (YA)
                ; entrada: conteudo p/ soma com (YA) em F1,
                ;    LSB ender.destino e p/ soma c/ F1 em A.
                ; resultado: na posicao indicada por YA.
                ; SF1YA: F1 <- F1 + (YA)
                ; entrada: LSB endereco destino em AUX,
                ;          LSB endereco p/ soma com F1 em A,
                ;          conteudo p/ soma com (YA) em F1.
                ; resultado: na posicao indicada por YAUX
                ; YXF1: YX <- F1
```

```
                ; entrada: LSB endereco destino em X
                ;          conteudo p/ transferir em F1.
                ; resultado: na posicao indicada por YX.

952F    85 ED   SAF1YA:   STA AUX
9531    A0 94   SF1YA:    LDY #EAP
9533    20 E7BE           JSR $E7BE
9536    A6 ED             LDX AUX
9538    A0 94   YXF1:     LDY #EAP
953A    4C EB2B           JMP $EB2B


                ; DF2F1: F1 <- F2 - F1
                ; entrada: LSB endereco minuendo em A,
                ;          subtraendo em F1.
                ; resultado: parte inteira da diferenca em A.

953D    A0 94   DF2F1:    LDY #EAP
953F    20 E9E3           JSR TF2YA
9542    20 E7AA           JSR F2MF1
9545    20 E752 PFINT:    JSR F1CINT
9548    A5 50             LDA RES
954A    60                RTS

                ; MULT: F1 <- (YA) * F1
                ; entrada: LSB endereco multiplicador em A,
                ;          multiplicando em F1.
                ; resultado: em F1.

954B    A0 94   MULT:     LDY #EAP
954D    4C E97F           JMP $E97F


                ; ******************************************
                ; * SELECAO DA ENTRADA ANALOGICA P/ CONVERSAO *
                ; ******************************************

                ; Entrada "3"

9550    8D C05A LEV3:     STA DV1        ; desliga  V1
9553    8D C05C           STA DV2        ; desliga  V2
9556    8D C05F           STA LV3        ; liga     V3
9559    A9 02             LDA #$02
955B    20 FCA8           JSR DELPRG     ; espera estabil.as entrs
955E    4C 958B           JMP CAD        ; converte V3 e volta

                ; Entrada "2"

9561    8D C05A LEV2:     STA DV1        ; desliga  V1
9564    8D C05E           STA DV3        ; desliga  V3
9567    8D C05D           STA LV2        ; liga     V2
956A    A9 02             LDA #$02
956C    20 FCA8           JSR DELPRG     ; espera estabil.as entrs
956F    4C 958B           JMP CAD        ; converte V2 e volta
```

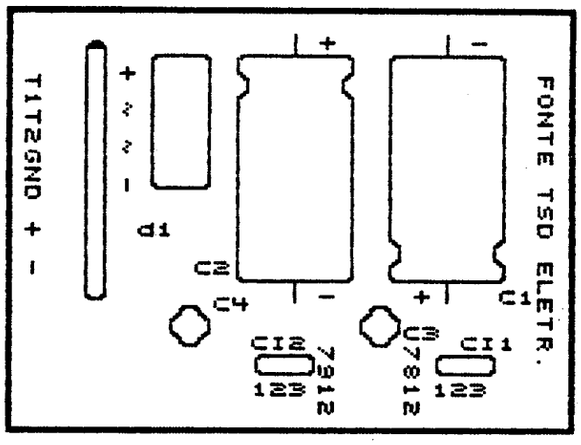
```
                ; Entrada "1" (controlada)

9572    8D C05C LEV1:   STA DV2      ; desliga V2
9575    8D C05E         STA DV3      ; desliga V3
9578    8D C05B         STA LV1      ; liga V1
957B    AD C0A0         LDA RELOG    ; le relogio
957E    29 01           AND #$01     ; mascara os 7 bits (MSB)
9580    85 ED           STA AUX      ; armazena leitura
9582    AD C0A0         LDA RELOG    ; le o relogio novamente
9585    29 01           AND #$01     ; mascara novamente e
9587    45 ED           EOR AUX      ; compara com leit. ant.
9589    F0 F7           BEQ RELE     ; se nao mudou, espera.

958B    AD C0A1 CAD:    LDA HABCAD   ; habilita a conversao
958E    A9 04           LDA #$04     ; espera por 107 us para
9590    20 FCA8         JSR DELPRG   ; chavear a entr.e converte
9593    AC C0A2         LDY LSB      ; le os 8 LSB
9596    AD C0A3         LDA MSB      ; le os 2 MSB
9599    29 03           AND #$03     ; mascara os outros 6 MSB
959B    4C E2F2         JMP YACPF    ; volta c/ valor conv.em F1.


                .DEPHASE

                END

Macros:

Symbols:
0019    A               00ED    AUX             958B    CAD
94F8    CTRL            950F    DELAY           FCA8    DELPRG
C058    DESLIG          953D    DF2F1           C05A    DV1
C05C    DV2             C05E    DV3             0094    EAP
EF09    EXPO            94C3    EXPONE          E752    F1CINT
952A    F1YA            E7AA    F2MF1           C0A1    HABCAD
0000    K               0005    KT              9525    LETT
9572    LEV1            9561    LEV2            9550    LEV3
C059    LIGA            948E    LINEAR          94E1    LOGARI
E941    LOGN            9511    LOOP2           9513    LOOP3
C0A2    LSB             C05B    LV1             C05D    LV2
C05F    LV3             002D    MEUMGR          C0A3    MSB
954B    MULT            0032    NEPER           9545    PFINT
9582    RELE            C0A0    RELOG           0050    RES
DD7B    RSEXPR          952F    SAF1YA          EFF1    SENO
949B    SENOID          9531    SF1YA           0014    TA
9447    TAEXPO          9437    TALIN           945E    TALOGN
943F    TASENO          E9E3    TF2YA           000F    TM
9470    TRESPA          000A    TT              0028    UMGRAU
9486    UMPAR           DEBE    VIRGUL          951D    VOLTA
001E    W               0023    WT              E2F2    YACPF
9538    YXF1


No Fatal error(s)
```


SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO - IFQSC
FÍSICA

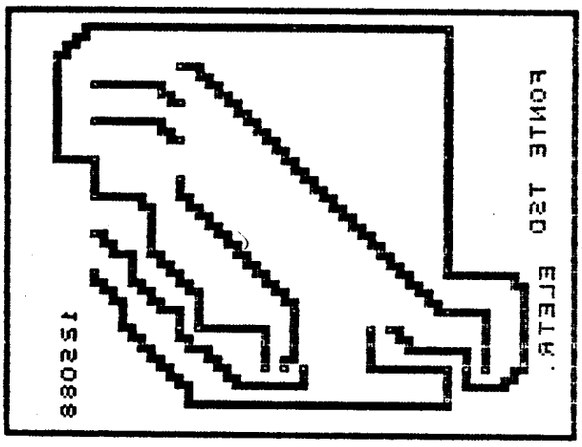
Apêndice E

"LAY-OUT DAS PLACAS DE CIRCUITO"

E.1 - FONTE DE ALIMENTAÇAO DOS AMPLIFICADORES

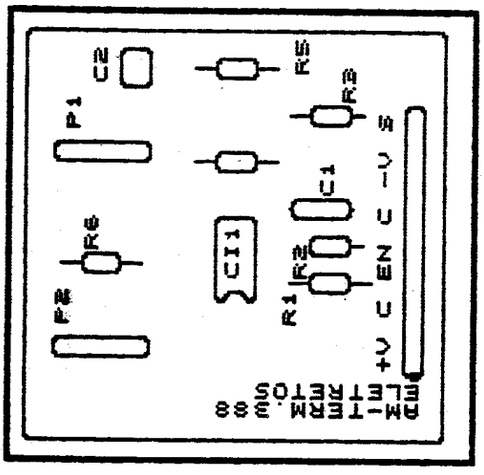


lado dos componentes

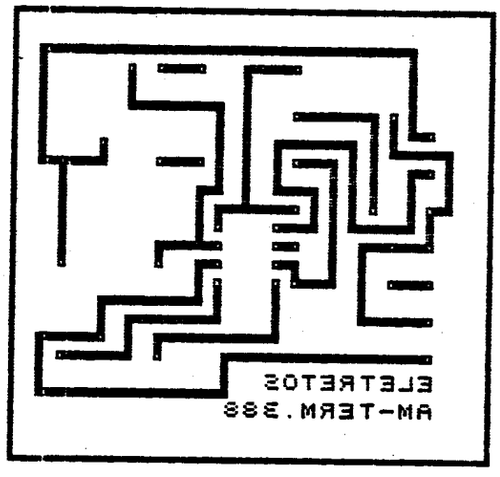


lado cobreado

E.2 - AMPLIFICADOR DE LEITURA DE TEMPERATURA

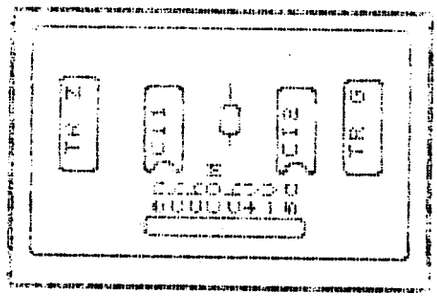


lado dos componentes

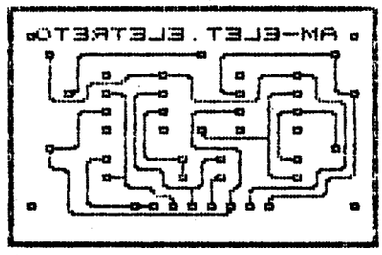


lado cobreado

E.3 - AMPLIFICADOR DE LEITURA DE CORRENTE

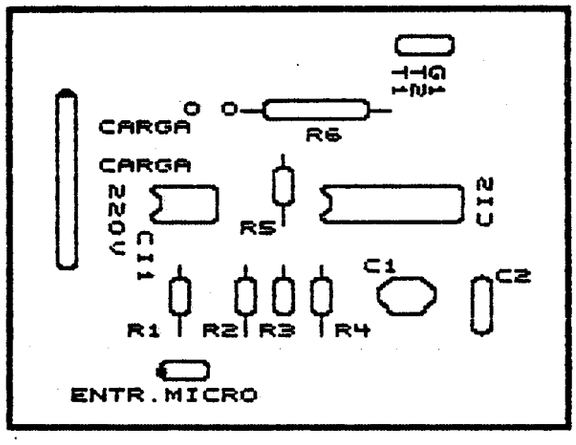


lado dos componentes

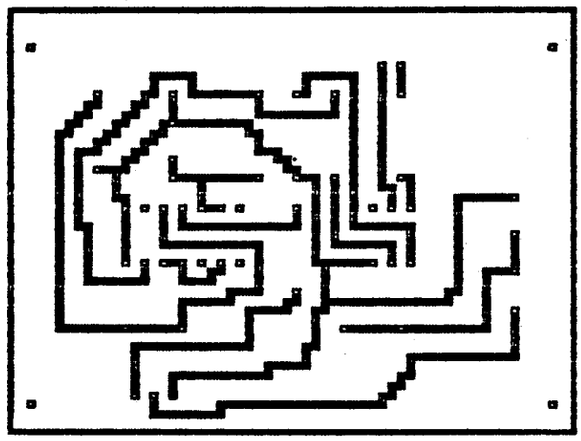


lado cobreado

E.4 - ACIONADOR DE CARGA

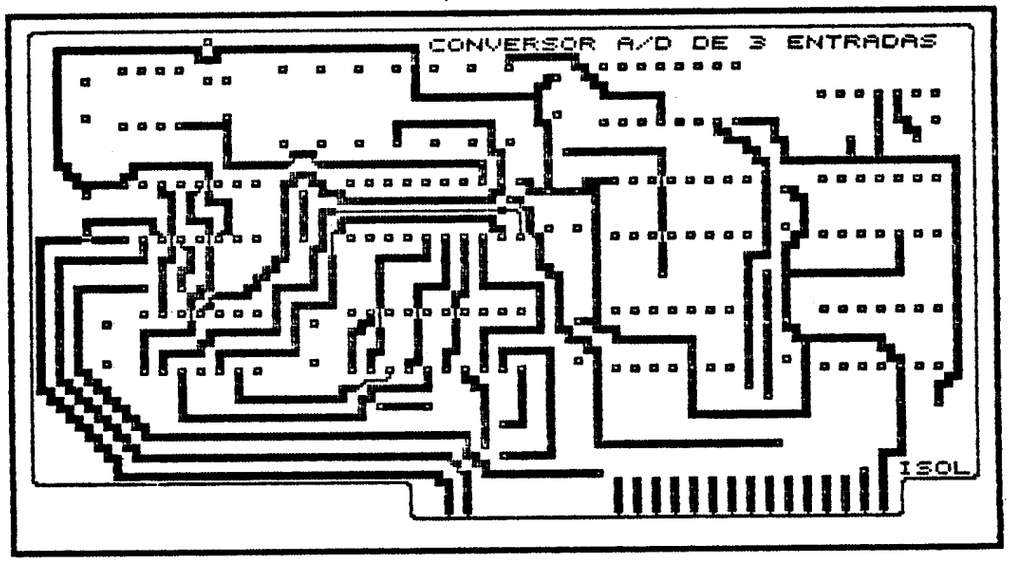


lado dos componentes

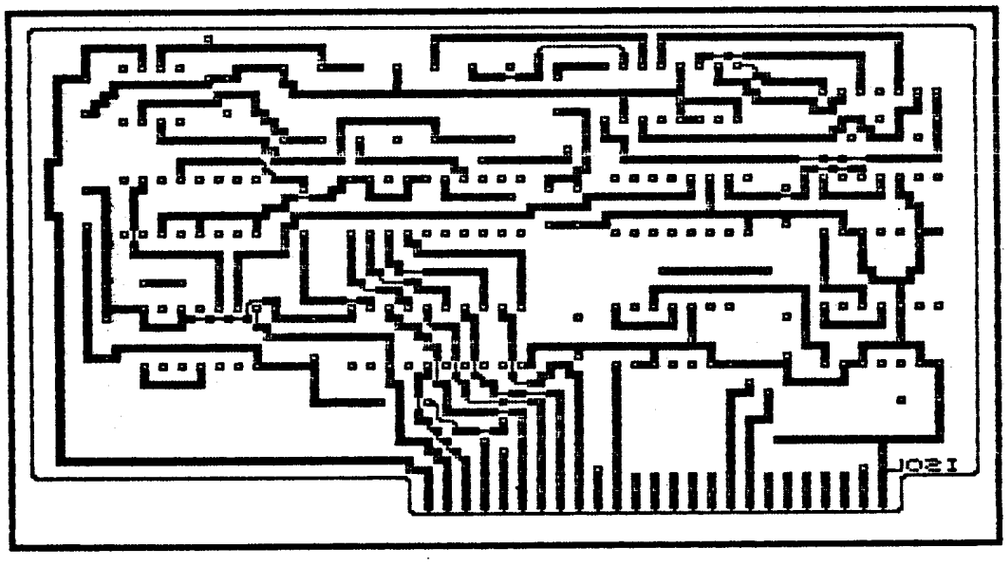


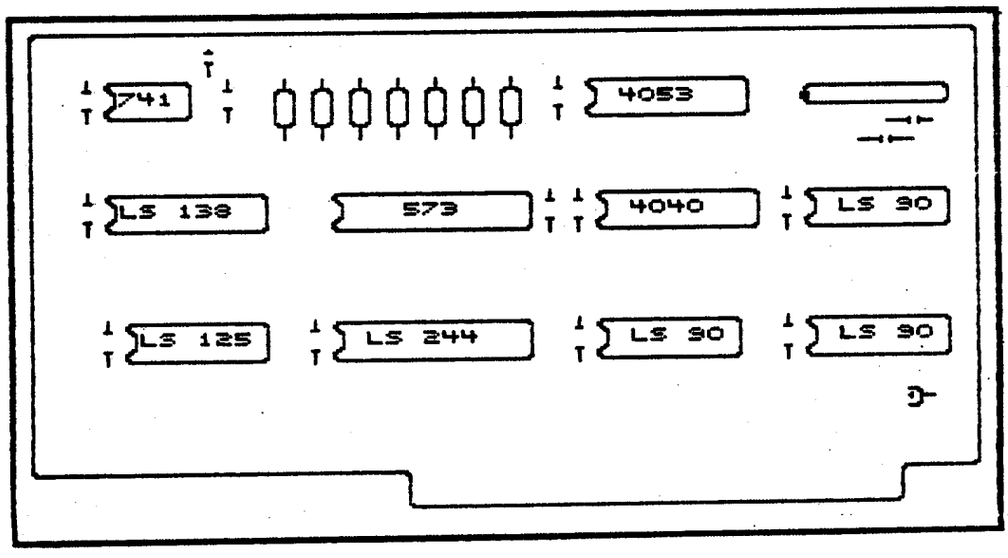
lado cobreado

E.5 - PLACA INTERFACE



lado cobreado





lado dos componentes

REFERENCIAS

[1] - Sessler, G. M. "Physical Principles of Electrets" in Electrets - Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York - 1980.

[2] - Sharp,E.J. and Garn,L.E. "Use of low-frequency sinusoidal temperature waves to separate pyroelectric currents from nonpyroelectric currents" - J.Appl.Phys. 53(12), Dec.1982.

[3] - Broadhurst, M. G., and Davis, G. T. "Piezoelectric and Pyroelectric Properties" in Electrets - Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York - 1980.

[4] - Gross, B. "Radiation-Induced Charge Storage and Polarization Effects" in Electrets - Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York - 1980.

[5] - Turnhout, J.van. "Thermally Stimulated Discharge of Electrets" - Central Laboratory TNO - Netherlands - 1978.

[6] - Giacometti, J. A., Malmonge, J. A. and Guimarães Neto, J. M. - "Open-Circuit TSD Method and Anomalous Air Gap Current in Teflon(R) FEP", IEEE Transactions on Electrical Insulation. - Vol. EI-21 - Nº 3 - June 1986.

[7] - Giacometti, J. A. "Apostilas do Curso de Seminários em Dielétricos" - Grupo de Eletretos Prof. Bernhard Gross - IFQSC - USP - 1988.

[8] - Malmonge, J.A. - "Dissertação de Mestrado", IFQSC - USP - 1988.

[9] - Cowell, T. A. T. and Woods, J. - "The Evaluation of Thermally Stimulated Current Curves" Brit. J. Phys., Vol.18 - 1967.

[10] - Poole, L., McNiff, M. and Cook, S. - "Apple II: Guia do Usuario" - Editora McGraw-Hill do Brasil, Ltda, 1984.

[11] - Naletto Jr.,A.F. - "Apple: Mapa da ROM" - Micro Sistemas - Análise, Teleprocessamento e Informática Editora - Ano IV, Nº 42 e Nº 43 - março/1985.

[12] - Leventhal, L. A. "6502: Assembly Language Programming" - Osborne/McGraw-Hill - 1979.

[13] - Jorge, A. - "Dissertação de Mestrado" - IFQSC - USP - 1987

[14] - Jorge, A. - Medidas realizadas no programa de doutoramento - IFQSC - USP.

[15] - Hughes, S. T. and Piercy, A. R. "The Simultaneous Measurement of Pyroelectric and Relaxation Currents in Poly(vinilidene fluoride).

[16] - Nogueira, J. S. - relatório do programa de mestrado - IFQSC - USP.

[17] - Broemme, D., Gerhard, R. and Sessier, G. M. "Isothermal and Thermally Stimulated Dischage of Polyethylene Terephthalate Foils" preprint from: 1981 Annual Report of the IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena.

[18] - Kraushaar, W.L. and Ingard, U. - " Introduccion al Estudio de la Mecánica, Materia y Ondas" - Editorial Reverté S.A. - 1966.