

JUSCELINO HOZUMI OKURA  
BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA - UNICAMP, 1989

METODOLOGIA DE QUALIFICAÇÃO  
DE COMPONENTES ELETRÔNICOS

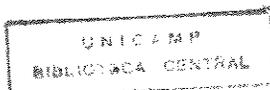
Este exemplar é propriedade da biblioteca da UNICAMP  
defendida por Juscelino Hozumi Okura  
Julgadora em 14.07.95  
Jacobus W. Swart  
Orientador

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica da UNICAMP como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de "MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA".

Orientador: Prof. Dr. Jacobus W. Swart

Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia Elétrica  
Departamento de Semicondutores,  
Instrumentação e Fotônica

Campinas, Julho de 1995



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	UNICAMP
V	Ok7m
F	26099
PREÇO	433,95
C	D 2
PREÇO	8811,00
DATA	18/11/95
N.º CPD	

CM-00080047-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Ok7m Okura, Juscelino Hozumi  
Metodologia de qualificação de componentes  
eletrônicos. / Juscelino Hozumi Okura.--Campinas, SP:  
[s.n.], 1995.

Orientador: Jacobus W. Swart.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica.

1. Confiabilidade. 2. Testes. 3. Qualidade. 4. Garantia  
de qualidade. I. Swart, Jacobus W. II. Universidade  
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica.  
III. Título.

Aos meus queridos pais,  
Katsumi Okura(†) e  
Kishiko Saito Okura

Este trabalho contou com o apoio  
das seguintes entidades:

IBM do Brasil

IBM USA - East Fishkill

CTI - Centro Tecnológico para Informática

UNICAMP - Instituto de Física "Gleb Wataghin"

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jacobus W. Swart, pela orientação, apoio e estímulo no desenvolvimento deste trabalho.

Ao grande amigo Eduardo Corrêa de Moura que me ensinou os primeiros passos na área de confiabilidade e cujas notas de aula serviram de apoio para este trabalho.

Aos engenheiros da IBM: Fabio Pessoa, Fung Ling Chiu e Mauro Lins, que me ajudaram nas Análises de Construções e Análises de falhas.

Aos gerentes da IBM que me incentivaram e depositaram confiança no meu trabalho: Marco Antonio Folegatti, João Carlos Ofenboeck, Paulo de Tarso M. Gomes e José Henrique Xavier.

À Profa. Dra. Alaíde P. Mammana do IM-CTI pelas caracterizações eletro-ópticas nos módulos de cristais líquidos.

Ao Prof. Dr. Paulo Motisuke do Laboratório de Espectroscopia II/GPO/IFGW/UNICAMP pela caracterização óptica dos LED's.

Ao Laboratório de microeletrônica e ensaios acelerados da IBM, Laboratório de pesquisa em dispositivos (LPD), Centro Tecnológico para Informática (CTI), Laboratório de Espectroscopia II (GPO/IFGW), Centro de Usinagem de materiais da IBM (Model Shop) e o Laboratório de química da IBM que colocaram à disposição a infraestrutura necessária para a realização deste trabalho.

À todos os engenheiros e técnicos da IBM que participaram diretamente na realização deste trabalho.

À todos os alunos e técnicos do IFGW/UNICAMP e IM-CTI que me ajudaram na caracterização dos componentes.

Ao meu Pai, que não está mais no meu dia-a-dia, mas a sua lembrança será eterna.

Aos amigos Xandão, Celsão e Ricardo pela amizade, estímulo e conselhos.

Aos amigos do laboratório 49 do LPD, pela convivência alegre e amigã

À todos os profissionais e gerentes da IBM Sumaré que conviveram comigo durante este trabalho e que me incentivaram muito.

À todos que de alguma maneira contribuíram para o sucesso deste trabalho e involuntariamente foram omitidos.

## RESUMO

Este trabalho nasceu da necessidade de melhorar a qualidade e confiabilidade de produtos fabricados. Para atingir este objetivo, o passo mais importante é a de qualificar os componentes que são usados nestes produtos. Neste trabalho apresentaremos uma Metodologia de Qualificação de Componentes Eletrônicos, onde abordaremos todos os passos necessários para mostrar que os componentes tenham um nível de qualidade e confiabilidade compatíveis com os requisitos exigidos por um fabricante de equipamentos eletrônicos que coloca seus produtos no mercado.

A confiabilidade de um produto pode ser medida pelo seu Tempo Médio Entre Falhas (MTBF), normalmente corresponde a 40.000 horas (para produtos na área de informática), que é a vida útil do produto. Para se atingir este objetivo é necessário que os componentes tenham um nível de confiabilidade muito alto. Este nível pode ser medido pela sua Taxa de Falha Média, que é a porcentagem de falha em um determinado período de tempo.

Apresentaremos a metodologia de qualificação descrevendo os principais tipos de testes que os componentes são submetidos e a teoria estatística com os modelos matemáticos de fatores de aceleração e cálculo do número de amostras e da taxa de falha média após os testes de confiabilidade. Vale lembrar que toda a teoria estatística aqui apresentada é baseada em métodos empíricos, através de experiências que os fabricantes e centros de pesquisa executaram durante anos e que condensaram os resultados para se criar esta teoria.

Veremos três estudos de caso para exemplificar toda a metodologia de qualificação. Inicialmente, apresentaremos resultados da qualificação de Diodos Emissores de Luz (LED), neste exemplo apresentaremos todos os passos necessários para a qualificação e seus resultados. Veremos resultados de dois testes críticos para este tipo de tecnologia, ou seja, a Análise de Construção, onde observamos alguns problemas relacionados com o processo de encapsulamento e o teste de Degradação Luminosa, onde observamos uma degradação (perda de luminosidade) de até 31% durante o teste de alta temperatura. Apresentaremos resultados da

qualificação de Módulos de Cristais Líquidos (LCD). Esta tecnologia apresentou excelentes resultados, exceto na Análise de Construção onde encontramos alguns problemas no processamento da pastilha do Circuito Integrado controlador/driver. Este resultado foi importante porque nos deu um direcionamento de como aplicar um esforço maior durante os testes de confiabilidade na pastilha do Circuito Integrado. No terceiro estudo de caso, apresentaremos resultados da qualificação de Circuitos Integrados TTL. Os resultados apresentados neste terceiro caso são muito sucintos, pois todos os passos já foram apresentados nos casos precedentes, evitando assim redundância na apresentação dos resultados. Além disto, esta tecnologia não apresentou nenhum ponto de preocupação durante os testes de qualificação.

Os três casos analisados não apresentaram problemas relacionados à confiabilidade, porém foram identificados falhas de Controle de Qualidade nas linhas de produção de um fornecedor, tendo sido propostos as melhorias necessárias. Analisamos limitações na metodologia de qualificação de componentes eletrônicos, por não levar em consideração alguns pontos relevantes que poderiam dar uma maior precisão na previsão da confiabilidade do produto. Como continuidade deste trabalho, sugerimos estudar uma nova metodologia para avaliar a confiabilidade dos componentes.

## ABSTRACT

Reliable electronic component is the cornerstone to get high quality and high reliability electronic equipment and system. In this work we will present the Qualification Methodology of Electronic Components using the traditional theory of Reliability Prediction of Electronic Components.

We will describe the methodology of all tests performed in the components in order to know their potentiality to be used in reliable products. One of the most important test is the Construction Analysis that verify if the component has good manufacturing process before starting reliability tests.

The use of reliability models to predict the average failure rate of electronic components is also presented. Three acceleration models are presented in this work, they are used to calculate the acceleration factor of the reliability tests. The theory of statistical hypothesis is used to predict the average failure rate after reliability tests with a given confidence level.

Three case studies are presented to demonstrate the validity of this theory. Light Emitting Diodes (LED) are submitted to the qualification tests and the Construction Analysis detected some problems on the encapsulation process of the vendor and the major findings are on the wire-bond process. They were probably caused by not so good Statistical Process Control. The qualification process of Liquid Crystal Display modules showed some problems on the Die fabrication process of the Driver/Controller IC HD44780. Where the major findings are on the Aluminum metallization, contact holes with silicon mound growth, silicon nodules detected, etc. The qualification process of the Integrated Circuit TTL showed excellent results in the Construction Analysis as well as in the reliability tests.

## CONTEÚDO

### 1 - INTRODUÇÃO

- 1.1 - Engenharia de Confiabilidade
- 1.2 - Objetivos da Tese
- 1.3 - Apresentação da Dissertação
- 1.4 - Referências

### 2 - TÉCNICAS DE QUALIFICAÇÃO DE COMPONENTES ELETRÔNICOS

- 2.1 - Introdução
- 2.2 - Caracterização do Componente e do Processo
  - 2.2.1 - Questionário do Processo e auditoria do sistema de qualidade
  - 2.2.2 - Análise de Construção
  - 2.2.3 - Caracterização Paramétrica
  - 2.2.4 - Análise de Contaminação Iônica
- 2.3 - Ensaio de Confiabilidade de Dispositivos Semicondutores
  - 2.3.1 - Introdução
  - 2.3.2 - Classificação dos Ensaio de Confiabilidade
  - 2.3.3 - Tipos de Aceleração
  - 2.3.4 - Mecanismos de Falhas em Dispositivos Semicondutores
- 2.4 - Principais Ensaio de Confiabilidade de Dispositivos Semicondutores
  - 2.4.1 - Grupo A - Ensaio de Vida
  - 2.4.2 - Grupo B - Ensaio Ambientais
  - 2.4.3 - Grupo C - Ensaio Mecânicos
- 2.5 - Referências

### 3 - CÁLCULO DA TAXA DE FALHA MÉDIA

#### 3.1 - Introdução

#### 3.2 - Fator de Aceleração

#### 3.3 - Modelos de Aceleração

##### 3.3.1 - Modelo de Arrhenius

##### 3.3.2 - Modelo de Peck

##### 3.3.3 - Coffin-Manson

#### 3.4 - Cálculo do número de Amostras

##### 3.4.1 - Metodologia para Cálculo do Número de Amostras

#### 3.5 - Cálculo da Taxa de Falha Média

#### 3.6 - Referências

### 4 - ESTUDO DE CASO I: QUALIFICAÇÃO DE LED

#### 4.1 - Introdução

#### 4.2 - Objetivos da Qualificação

#### 4.3 - Descrição do Componente

#### 4.4 - Condições típicas de Uso Assumidas para o Componente

#### 4.5 - Questionário do Processo

#### 4.6 - Resultados da Análise de Construção

#### 4.7 - Resultado da Auditoria no Sistema de Qualidade

#### 4.8 - Resultado dos Testes Realizados

#### 4.9 - Degradação dos Parâmetros Elétricos

#### 4.10 - Degradação Luminosa Após Teste de HTB

##### 4.10.1 - Introdução

##### 4.10.2 - Descrição das Amostras e do Procedimento Experimental Utilizado

##### 4.10.3 - Resultados e Discussões

#### 4.11 - Cálculo da Taxa de Falha Média

##### 4.11.1 - Teste de HTB

##### 4.11.2 - Teste de T&H com Polarização Reversa

##### 4.11.3 - Teste T/C

##### 4.11.4 - Resumo e Análise dos resultados

#### 4.12 - Conclusão

#### 4.13 - Referências

## 5 - ESTUDO DE CASO II: QUALIFICAÇÃO DE LCD

### 5.1 - Introdução

### 5.2 - Descrição do Componente

### 5.3 - Resultados da Análise de Construção

#### 5.3.1 - Introdução

#### 5.3.2 - Descrição da Tecnologia

##### 5.3.2.1 - Aspectos da montagem geral do módulo

##### 5.3.2.2 - Montagem do controlador/driver PLCC

##### 5.3.2.3 - Processo de fabricação da pastilha (DIE)

#### 5.3.3 - Análise Fotográfica dos Módulos

#### 5.3.4 - Análise dos Resultados

##### 5.3.4.1 - Aspectos da montagem geral do módulo

##### 5.3.4.2 - Montagem do controlador/driver PLCC

##### 5.3.4.3 - Processo de fabricação da pastilha (DIE)

### 5.4 - Testes Executados e Resultados

### 5.5 - Estudo da Degradação dos Parâmetros Eletro-ópticos

#### 5.5.1 - Resumo

#### 5.5.2 - Introdução

#### 5.5.3 - Métodos Experimentais

#### 5.5.4 - Resultados

#### 5.5.5 - Conclusões

### 5.6 - Conclusões

### 5.7 - Referências

## 6 - ESTUDO DE CASO III: QUALIFICAÇÃO DE CIRCUITOS INTEGRADOS TTL

### 6.1 - Introdução

### 6.2 - Descrição do Componente

### 6.3 - Testes Executados e Resultados

### 6.4 - Tabela da Taxa de Falhas Média

### 6.5 - Conclusões

### 6.6 - Referências

## 7 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1) ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE

Atualmente vivemos num mundo de grandes avanços tecnológicos em que as diversas atividades humanas cada vez mais se interagem com grandes e complexos sistemas, geralmente computadorizados, que antes de tudo têm que ser altamente confiáveis. Tudo isto reflete-se na maneira de pensar dos consumidores de produtos e serviços que, gradualmente desacostumados com erros e falhas passam a naturalmente esperar que tudo funcione dentro dos padrões cada vez mais seletivos de qualidade e confiabilidade. Como exemplo podemos citar uma agência bancária computadorizada.

A revolução japonesa em qualidade e confiabilidade vem já há vários anos obrigando qualquer empresa disposta a sobreviver a colocar os seus diversos departamentos interagindo e coordenando seus esforços na tarefa comum (e não mais somente do departamento de controle de qualidade) de fazer produtos com cada vez mais qualidade e confiabilidade, como fator decisivo na conquista do mercado.

Tudo isto acarreta um movimento pró-qualidade e confiabilidade que tem crescido entre os fabricantes, os quais por sua vez exigem de seus fornecedores perfeita sintonia com os requisitos de qualidade e confiabilidade.

Durante muitos anos houveram muitas definições sobre o que vem a ser qualidade, ou como deve ser um produto que tenha qualidade. Qualidade é um conceito muito subjetivo e pode mudar de cliente para cliente, onde cada qual espera que o produto tenha uma performance individual. Mas a definição mais aceita atualmente é: "Qualidade é a capacidade de um item atender às especificações aplicáveis. Geralmente ela aplica-se ao produto recém fabricado ou a etapas intermediárias do processo de fabricação" [10]. O conceito mais atual e que engloba todos os processos, não só de fabricação, a que o produto está sujeito até cair nas mãos dos clientes é: "Qualidade é tudo aquilo que deixa o cliente

satisfeito". Esta definição é mais abrangente, uma vez que engloba qualquer processo, mesmo o não produtivo. Como exemplo podemos citar um cliente insatisfeito quando não recebe o produto que comprou no prazo prometido, mesmo que o produto não apresente defeitos de fabricação.

O conceito de confiabilidade vem sendo interpretado como sendo uma das características da qualidade: "Confiabilidade é a capacidade de um item atender às especificações durante um determinado intervalo de tempo" [9]. Existe também um conceito probabilístico de confiabilidade, que é importante no nosso caso, pois faremos um estudo da confiabilidade de componentes do ponto de vista de probabilidade. A palavra Confiabilidade significa a probabilidade (bem como habilidade ou capacidade) do produto executar continuamente a função para a qual foi projetado nas dadas condições ambientais durante pelo menos no período de tempo especificado.

A confiabilidade de um produto pode ser medida probabilisticamente pelo seu tempo médio antes da falha (MTBF - Mean Time Between Failure) [3] que é definido como o tempo médio entre falhas dos componentes de um produto. Este tempo significa em termos gerais a vida útil especificada para o produto até apresentar a primeira falha, que é normalmente especificada pelo grupo de desenvolvimento de novos produtos. É normal especificar a vida útil de um produto, especialmente na área de informática, como sendo de 5 anos, o que corresponde a um MTBF de 40000 horas se o produto for usado em torno de 24 horas por dia. O grupo de desenvolvimento de novos produtos, através do MTBF, calcula o valor da taxa de falha média do sistema, através da seguinte relação:  $MTBF=1/\lambda$ , onde  $\lambda$  é a taxa de falha média do sistema. Com o uso da teoria da probabilidade pode-se calcular a taxa de falha média de cada componente. Esta taxa de falha é o dado necessário para os engenheiros do grupo de qualificação iniciar o processo dos testes de confiabilidade no intuito de mostrar que um dado componente pode atingir a taxa de falha média requerida para o mesmo. O objetivo da qualificação é a de demonstrar através dos testes de confiabilidade que um dado componente terá um nível de qualidade e confiabilidade esperados para o componente, pelo grupo de desenvolvimento de novos produtos. Este trabalho deverá ser

executado a todos os componentes ainda não qualificados, num tempo compatível com o ciclo de desenvolvimento do produto, sendo necessário portanto o uso de modelos de aceleração e métodos estatísticos, como veremos no item a seguir.

### 1.2) OBJETIVOS DA TESE

O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de metodologia de análise do nível de qualidade e confiabilidade de componentes eletrônicos num período de tempo compatível com o ciclo de desenvolvimento de produto, ou seja, tirar o máximo de informações sobre um componente num curto espaço de tempo. Para se atingir este objetivo, foi necessário recorrer aos modelos de aceleração dos mecanismos de falha das tecnologias envolvidas, a fim de encurtar o tempo de teste de confiabilidade e usar os métodos estatísticos para calcular a taxa de falha média para cada tecnologia. Além disto, para se conhecer melhor um componente e o fornecedor do mesmo, é necessário executar testes adicionais, tais como: Análise de Construção, testes mecânicos, etc e auditorias nos sistemas de qualidade e controle de processos do fornecedor.

No trabalho, este objetivo é consolidado pela apresentação da aplicação da metodologia ao estudo de três casos.

### 1.3) APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho apresenta, no Cap. II, a descrição dos principais testes executados para a qualificação dos componentes eletrônicos. A metodologia dos testes é baseada nas normas militares Norte-americanas e especificações de engenharia internas.

No Cap. III apresentamos os modelos físicos e matemáticos dos fatores de aceleração utilizados neste trabalho, vale lembrar que existe uma gama muito grande de modelos físicos que descrevem os mecanismos de falhas. Veremos também a teoria estatística para calcular o número mínimo de amostras necessário para cada tipo de teste de confiabilidade. E após saber o resultado do número de falhas, calcular a taxa de falha média.

Nos três capítulos seguintes, apresentaremos estudos de casos

abordando três tipos de tecnologias diferentes. No Cap. IV, veremos resultados dos testes executados nos Diodos Emissores de Luz (LED's), dando ênfase na Análise de Construção e no estudo da degradação luminosa.

No Cap. V, apresentaremos resultados da qualificação de Módulos de Cristais Líquidos (LCD's), dando ênfase na Análise de construção e no estudo da degradação das características eletro-ópticas do LCD.

No Cap. VI, apresentaremos os resultados dos testes referentes ao Circuito Integrado de tecnologia TTL. Neste Cap. não apresentaremos resultados da Análise de Construção, pois não observamos nenhum problema no processo de encapsulamento desta pastilha. Além disto, não verificamos nenhum ponto crítico nos demais testes.

Finalmente, no Cap. VII, apresentaremos a conclusão dos principais resultados para os três estudos de caso e uma sugestão para melhorar a metodologia utilizada e futuros estudos nesta área.

#### 1.4) REFERÊNCIAS

- 1) Applied Reliability  
Tobias, P.A. and Trindade, D.C. (1986),  
Van Nostrand Reinhold Co., New York, NY
- 2) Handbook of Reliability Engineering and Management  
Ireson and Coombs (1988)  
McGraw Hill, New York, NY
- 3) Practical Reliability Engineering  
O'Connor, P.D.T. (1985)  
2nd Ed. John Wiley and Sons, New York, NY
- 4) Mechanical Reliability  
Carter, A.D.S. (1986)  
2nd Ed. Macmillan Education LTD, London, UK
- 5) Reliability: Management, Methods and Mathematics  
Lloyd, D.K. and Lipow, M. (1984)  
2nd Ed. 5th printing by ASQC, Milwaukee, WI

- 6) Reliability, Maintainability and Availability Assessment  
Locks, M.O. (1973)  
Hayden Book Co., Rochelle Park, NJ
- 7) Methods of Statistical Analysis of Reliability and Life  
Data  
Mann, Schafer and Singpurwalla (1974)  
John Wiley and Sons, New York, NY
- 8) Probability and Statistics for Engineers and Scientists  
Walpore, R.E. and Myers, R.H. (1978)  
2nd Ed. Macmillan Publ. Co., New York, NY
- 9) Reliability Engineering in Systems, Design and Operation  
Balber S. Dhillon  
Van Nostrand Reinhold Co., 1983
- 10) Quality Control Handbook  
Juran, J. M.  
3rd Ed., McGraw-Hill, 1974

## CAPÍTULO 2

### TÉCNICAS DE QUALIFICAÇÃO DE COMPONENTES ELETRÔNICOS

#### 2.1) INTRODUÇÃO

O processo de qualificação de componentes eletrônicos é realizado com o objetivo de garantir que um componente funcionará confiavelmente de acordo com as suas especificações. Neste capítulo veremos os passos e testes necessários para "medir" a confiabilidade dos componentes eletrônicos e assegurar se os mesmos podem ser usados em um determinado produto. Os critérios usados na qualificação devem corresponder ao grau de criticidade do uso do componente em um determinado produto. O grupo de engenharia responsável pela qualificação de um componente deve garantir que o mesmo recebeu a quantidade suficiente de testes, e deve dar sua posição de suporte ou não ao uso do componente no produto. Os testes de qualificação devem estabelecer que o componente tenha um nível de qualidade, confiabilidade e funcionalidade compatíveis com os requisitos requeridos para o produto, quais são:

- a) Taxa de falha média para um dado nível de confiança estabelecida para um dado produto.
- b) Garantir que o componente seja compatível com os testes de confiabilidade dos grupos A, B e C, definidos no item 2.3.2.
- c) Verificar se há necessidade de um maior controle sobre algum parâmetro do processo de fabricação do fabricante.

Os testes de confiabilidade neste trabalho foram feitos conforme as normas americanas militares e/ou as especificações próprias (no nosso caso especificações de engenharia da IBM). As normas militares foram introduzidas na década de 1960 pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos com o objetivo de definir métodos de teste e ensaios de confiabilidade de componentes elétricos e eletrônicos para aplicações militares. Podemos citar as três normas mais utilizadas:

- 1) MIL-STD-883 "Test methods and procedures for microelectronics" [1].
- 2) MIL-STD-750 "Test methods for semiconductor devices" [2].
- 3) MIL-STD-202 "Test methods for electronic and electrical component parts" [3].

Descreveremos neste capítulo a metodologia e os tipos de testes que os componentes serão submetidos durante a qualificação.

## 2.2) CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO E DO COMPONENTE

### 2.2.1) QUESTIONÁRIO DO PROCESSO E AUDITORIA DO SISTEMA DE QUALIDADE

O fabricante deve descrever todas as etapas do seu processo produtivo, detalhando o máximo possível as etapas (por ex.: tipo/marca/modelo do equipamento utilizado, temperaturas, tipo de material, fornecedor, etc) e dando ênfase nos pontos de controle estatístico do processo (CEP).

A figura 2.1 mostra o fluxograma típico de um processo de fabricação de circuitos integrados e seus respectivos pontos de controle [6].

A seguir é realizada uma auditoria no processo e sistema de qualidade do fabricante a fim de assegurar que o mesmo esteja executando todas as técnicas estatísticas de prevenção de falhas e tenha um sistema de qualidade implementado. A auditoria no sistema de qualidade é baseada nas normas ISO9000 e normas internas de qualidade [14,15].

O relatório indicando os pontos fortes e pontos a melhorar com sugestões para oportunidade de melhoria, é enviado ao fabricante.

O fabricante deve preparar uma resposta escrita a este relatório, preferivelmente detalhando um plano de ação para satisfação dos requisitos de qualidade ainda não atendidos, os quais são mencionados no relatório como oportunidades de melhoria. Recomenda-se que sejam descritas as atividades a serem implementadas, os nomes dos responsáveis pelas mesmas e as respectivas datas de implementação. Tanto o questionário como a

auditoria no sistema de qualidade são importantes quando ainda não conhecemos o fabricante. Quando o mesmo já possui um bom histórico, estes passos não serão necessários.

Process	Control Item/ Inspection Item	Important points on control	Inspection Tool
Si wafer oxidation	Temperature Thickness	Temperature profile Film thickness	Thermometer Thickness meter
P well deposition	Temperature Sheet resistance	Temperature profile Resistance	Thermometer Sheet resistance measuring instrument
Gate oxidation	Temperature thickness	Film thickness,	Thermometer, thickness meter
Poly Si deposition	Temperature Thickness	Temperature profile, time Film thickness, resistance	Thermometer Thickness meter
P/N diffusion	Temperature Sheet resistance	Temperature profile Resistance	Thermometer Sheet resistance measuring instrument
Contact hole photo engraving	Temperature, thickness	Film thickness,	Thermometer, thickness meter
Metal deposition	Temperature, thickness	Film thickness, temperature profile	Thermometer, thickness meter
Passivation deposition	Temperature, thickness	Film thickness, temperature profile	Thermometer, thickness meter
Characteristic inspection	Electrical characteristic	Electrical characteristic	Tester, prober
Wrapping	Thickness	Wafer thickness, external	Thickness meter
Dicing			
Die bond	Temperature	Temperature, time	Thermometer
Wire bond inspection	Strength	Bond strength	Pull tester
Molding	Visual inspection	External, shape	Microscope
Cure	Temperature	Die temperature	Thermometer
External plating	Temperature	Temperature, time	Thermometer
Lead trim and forming			
Marking			
Final inspection	Electrical characteristic Visual inspection	Electrical characteristic External shape	Tester
Packaging			
Initial quality assurance test			
Shipping reliability monitor			

Fig. 2.1) Exemplo de diagrama do processo de fabricação e seus pontos de controle [6].

## 2.2.2) ANÁLISE DE CONSTRUÇÃO

O objetivo da análise de construção é a de detectar problemas no processo de fabricação do componente, a fim de verificar se o componente tem potencial de confiabilidade suficiente para iniciar os testes de confiabilidade, permitindo tomar ações corretivas no processo antes do início da qualificação. Permite conhecer melhor o processo do fornecedor, apontando os seus pontos fortes e fracos, auxiliando a direcionar melhor os testes de confiabilidade.

É uma das etapas mais importantes do processo de qualificação.

A análise de construção consiste em selecionar amostras aleatórias do processo produtivo e fazer uma engenharia reversa do componente, para isto as seguintes análises são feitas:

- 1) Inspeção externa
- 2) Raios-X
- 3) Decapsulamento
- 4) Inspeção óptica interna
- 5) Fotografia da pastilha
- 6) Análise via SEM (microscopia eletrônica de varredura) das características de montagem
- 7) Testes de tração no fio e tração na solda da bola de ouro
- 8) Teste de integridade da passivação via microscopia óptica
- 9) Microanálise dos materiais
- 10) Remoção da passivação
- 11) Análise via SEM da metalização
- 12) Remoção da metalização
- 13) Análise dos nódulos de Silício
- 14) Polimento lateral do componente para observar a secção de corte da pastilha
- 15) Microanálise via SEM das camadas (EDX, etc)
- 16) Medida das dimensões

Após todas as etapas concluídas é gerado um relatório com os pontos fortes e pontos fracos do processo e encaminhado ao fabricante para a tomada de ações corretivas. Caso as ações

corretivas não sejam suficientes e não satisfaçam os requisitos de qualidade, então decide-se por não continuar o processo de qualificação.

### 2.2.3) CARACTERIZAÇÃO PARAMÉTRICA

Visa obter os parâmetros visuais, elétricos, ópticos ou optoeletrônicos (no caso de tecnologia de componentes optoeletrônicos), a fim de verificar se eles seguem as especificações fornecidas pelo fabricante e pelas especificações internas de engenharia. Este teste é executado em todas as amostras recebidas para a qualificação e visa comparar os resultados com os obtidos pelo depto de Controle de Qualidade do fornecedor.

Exemplo de análise visual:

- 1) Trincas
- 2) Rachaduras
- 3) Bolhas
- 4) Manchas
- 5) Acabamento
- 6) Qualidade do encapsulamento
- 7) Oxidação dos terminais
- 8) Terminais quebrados ou faltando
- 9) Carimbo

Nos testes elétricos são medidas as tensões, correntes, tempos, etc, a fim de assegurar que as mesmas estão dentro da faixa especificada pelo fabricante.

### 2.2.4) ANÁLISE DE CONTAMINAÇÃO IÔNICA

Contaminação iônica, tais como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e especialmente  $\text{Cl}^-$ , na presença de umidade, representa uma das causas mais prováveis para a ocorrência de corrosão e conseqüentemente falhas nos dispositivos semicondutores.

Em alguns casos temos a formação de vazios ("gap") na interface entre o terminal e o plástico. Isto permite a entrada de contaminantes durante o processamento final ou do ambiente, que em seguida podem migrar ao longo dos fios de ouro até as áreas de solda ("pads") de alumínio e corroer este material (ex: íons de  $\text{Cl}^-$ ).

Estes devem ser estritamente controlados nos materiais, processos e produtos acabados.

Uma das técnicas mais usadas para determinar a quantidade de íons ou cátions presentes no plástico ou na sua superfície é a cromatografia líquida, que permite detetar contaminantes com concentrações na faixa de PPM ou PPB.

O limite aceito pelos principais fabricantes de dispositivos semicondutores é de  $0,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  de íons  $\text{Cl}^-$  para os encapsulamentos plásticos [21].

## 2.3) ENSAIOS DE CONFIABILIDADE DE DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES [1,2,3,6,12,13]

### 2.3.1) INTRODUÇÃO

O principal objetivo dos testes de confiabilidade para dispositivos semicondutores é a de assegurar que os componentes produzidos, depois do processo de encapsulamento e da sua inserção no produto pelo cliente, satisfaça o usuário final com os requisitos de funcionalidade e performance durante o período de vida esperado.

Entretanto, testes de confiabilidade normalmente faceiam com problemas de tempo e custo. Especialmente com os dispositivos semicondutores, o tempo de teste e o número de amostras para os testes seriam enormes se os testes fossem executados sob as condições normais de uso devido ao tempo médio para falha ser muito longo e a taxa de falha requerida ser muito baixa.

Dessa forma, normalmente fatores tais como tensão elétrica, temperatura e umidade são aumentados para encurtar o tempo de teste. Além do mais, as amostras são selecionadas para cobrir um tipo de tecnologia de fabricação e não somente por função

executada pelos dispositivos semicondutores e são calculadas por métodos estatísticos a fim de reduzir o número de amostras por teste.

Alguns pontos devem ser considerados a fim de obtermos sucesso num teste de confiabilidade, tais como:

- Quais são as aplicações dos dispositivos que serão testados?
- Sob que tipos de ambientes e condições os dispositivos serão usados?
- Quais são os modos e mecanismos de falha esperados e que tipo de esforços são apropriados para acelerar o tempo de teste?
- Quais são os requisitos da taxa de falha do mercado?
- Por quanto tempo este dispositivo será usado (vida útil do produto)?
- Qual é a criticidade do componente dentro do produto?

Um ponto importante a ser considerado na execução dos testes de confiabilidade é que os dados contribuam para uma estimativa apropriada e melhoria da confiabilidade do produto. Dessa forma, é importante conduzir repetidamente os testes de confiabilidade e análise de falhas detalhadas e suprir dados detalhados para o projeto do dispositivo e etapas do processo.

### 2.3.2) CLASSIFICAÇÃO DOS ENSAIOS DE CONFIABILIDADE

Os ensaios de confiabilidade podem ser classificados em três diferentes categorias, embora em alguns ensaios encontrados na prática sejam usadas combinações de duas ou mesmo de todas as três categorias.

#### Ensaio de vida (Grupo A)

Verificam o comportamento do componente quando submetido às condições típicas de operação durante a sua vida útil.

## Ensaaios ambientais (Grupo B)

Verificam a capacidade do componente suportar as condições ambientais durante o uso. Estas condições podem ser a umidade, temperatura, etc.

## Ensaaios mecânicos (Grupo C)

Verificam a capacidade do componente suportar solicitações mecânicas, tais como: vibração, impacto, choque, torção/tração dos terminais, etc, aos quais o componente pode estar sujeito durante a montagem nas placas eletrônicas e também durante o uso.

A idéia geral destes ensaios é usar um ou mais fatores acelerantes, por exemplo: temperatura e voltagem, temperatura e umidade, cujos efeitos destas condições são conhecidos através de modelos matemáticos, no intuito de obter dados no menor intervalo de tempo possível.

É importante ressaltar que a referência fundamental para todos os ensaios são as condições reais de uso, ou seja, é importante que se defina de forma clara qual é o nível de confiabilidade que se quer chegar, para que não sejam executados testes e ensaios desnecessários, o que acarreta em custos excessivos ou a ensaios insuficientes.

Mesmo quando se realiza um plano de ensaios com bases sólidas, é preciso levar em conta que ensaios de laboratórios, os quais tipicamente aplicam de maneira controlada e isolada uma ou mais condições acelerantes, dificilmente conseguem reproduzir com fidelidade as condições reais de uso, em que as várias condições e mecanismos de falha agem e interagem de maneira aleatória.

Além do mais, temos que levar em consideração que estes modelos matemáticos de aceleração são baseados em considerações estatísticas de erros amostrais e são modelos empíricos, o que muitas vezes leva ao questionamento se valem ou não todos os recursos gastos nestes ensaios. A este questionamento, os engenheiros de confiabilidade respondem através do seguinte paradoxo da confiabilidade: "quanto menos disponível é um dado de

confiabilidade, mais necessário ele é; quanto mais cedo ele for obtido mais inexato será, porém mais utilidade terá."

Existem diferentes finalidades para se executar ensaios de confiabilidade:

ESTUDO DE ENGENHARIA: O objetivo é caracterizar uma certa tecnologia no que diz respeito a um específico mecanismo de falha, determinando os fatores responsáveis e desenvolvendo um modelo de aceleração para este mecanismo.

COMPARAÇÃO: O objetivo é a de comparar dois processos diferentes de fabricação, sendo que são da mesma tecnologia. Estes ensaios são estendidos até que se note diferença significativa dos dois processos, selecionando assim o melhor.

ESTIMATIVA: O objetivo é obter dados suficientes para estimar a taxa de falha, com um certo nível de confiança.

ACEITAÇÃO OU DEMONSTRAÇÃO: O objetivo é garantir que certo requisito de confiabilidade especificado seja atendido pelo componente, dentro de um risco ou nível de significância pré-estabelecido.

SELEÇÃO OU DEPURACÃO: Selecionar componentes discrepantes ou que não atendam requisitos pré-estabelecidos de confiabilidade, dentro de uma população de componentes, ou de forçar a ocorrência de falhas prematuras latentes em um sistema.

### 2.3.3) TIPOS DE ACELERAÇÃO

A seguir apresentaremos as principais condições para aceleração e suas combinações mais usadas em ensaios de confiabilidade de componentes semicondutores.

#### 1) TEMPERATURA

Ativa reações químicas, corrosão e difusão. Por exemplo: reações químicas em áreas onde não há proteção da passivação (pads de alumínio); envelhecimento do material plástico de encapsulamento que pode danificar o chip ou mudar suas propriedades, etc.

## 2) CICLAGEM DE TEMPERATURA

Provoca alterações no funcionamento ou intermitência no funcionamento, bem como danos mecânicos, devido à incompatibilidade na dilatação térmica dos vários materiais usados na fabricação do componente.

## 3) TEMPERATURA E VOLTAGEM

A combinação destas duas condições de esforço permite que os íons contaminantes do encapsulamento, na superfície do chip ou no interior do chip, adquiram mobilidade e acumulem-se de acordo com o campo elétrico, devido à tensão aplicada e provoquem reações devido ao efeito da temperatura, provocando falhas.

## 4) TEMPERATURA, VOLTAGEM E UMIDADE

A combinação destas três condições de esforço provoca a corrosão eletrolítica das interconexões de alumínio na presença de íons contaminantes, especialmente o  $\text{Cl}^-$ , em número suficiente para formar um eletrólito na presença de umidade.

## 5) UMIDADE E PRESSÃO

A metalização do chip pode sofrer corrosão somente na presença de íons contaminantes e de umidade. A pressão é aplicada para acelerar a penetração de umidade.

## 6) TEMPERATURA E CORRENTE ELÉTRICA

Estas condições de esforço aceleram efeitos de eletromigração no chip.

## 2.3.4) MECANISMOS DE FALHAS EM DISPOSITIVOS SEMICONDUTORES

[6,12,13]

Descreveremos aqui os diversos tipos de mecanismos de falha em dispositivos semicondutores.

### 1) FALHAS DO ENCAPSULAMENTO

- Selagem inadequada em encapsulamentos herméticos (cerâmicos ou metálicos), permitindo a penetração de umidade e impurezas.

- Penetração de umidade e impurezas em encapsulamentos plásticos, através: a) da interface plástico/terminal, b) plástico/fio de ligação, e c) do próprio corpo plástico.

- Corrosão dos terminais externos

- Emissão de partículas alfa do corpo plástico ou via raios cósmicos, causando alterações nos dados em circuitos dinâmicos (memórias DRAM).

### 2) FALHAS MECÂNICAS NO CHIP

- Trincas, rachaduras e lascas decorrentes de esforço ou tensão mecânica durante serragem ou durante processo de encapsulamento.

- Trincas decorrentes de esforço causados pela incompatibilidade de expansão térmica entre o chip, encapsulamento e fios de ligação.

- Pequenas trincas na área de solda de alumínio, devido à pressão excessiva durante solda da bola de ouro.

### 3) FALHAS NA ADERÊNCIA DO CHIP AO SUBSTRATO (DIE ATTACH)

- Superaquecimento do chip durante funcionamento, devido a bolhas na solda ou epoxy que prende o chip ao substrato.

- Esforço mecânico ou térmico causando trincas na interface entre o chip e o substrato, provocando aumento da resistência térmica ou falha funcional.

- Curto-circuito na borda do chip causado pelo processo de solda.

#### 4) FALHAS NOS FIOS DE LIGAÇÃO

- Aumento da densidade de corrente elétrica, devido a bolas de ligação deslocadas ou deformadas, e deformações mecânicas do diâmetro do fio durante a ligação.

- Em altas temperaturas há a formação de ligações intermetálicas (purple plague) na interface da bola de ouro com a área de solda de alumínio, liga púrpura ( $AuAl_2$ ). Isto provoca um aumento na resistência elétrica e torna a ligação mecanicamente fraca.

- Fusão do fio devido à sobrecarga elétrica.

#### 5) METALIZAÇÃO DE ALUMÍNIO

- Corrosão do alumínio devido à umidade e contaminações iônicas.

- Reações na interface com o Silício

- Eletromigração

- Migração metálica (crescimento dendrítico) entre metalizações.

- Trincas nas metalizações devido a esforço mecânico ou térmico.

- Perda de aderência da metalização devido a stress.

- Falhas decorrentes de remoção insuficiente ou excessiva do metal durante processamento.

- Falhas decorrentes de desalinhamento da metalização durante litografia.

- Fusão do Al devido à sobrecarga elétrica (EOS-Electrical OverStress) ou descarga eletrostática (ESD-ElectroStatic Discharge).

## 6) ÓXIDO TÉRMICO

- Instabilidade do funcionamento do componente devido à presença de cargas elétricas no filme de óxido, uma destas cargas elétricas são íons móveis que penetram através da passivação ou por contaminação externa. Estas instabilidades podem ser principalmente: deslocamento da tensão de limiar (threshold), transcondutância.

- Trincas na superfície do óxido.
- Degradação ou ruptura do óxido causada por EOS ou ESD.

## 7) CAMADA DE PASSIVAÇÃO

- Instabilidade no funcionamento do dispositivo devida à contaminação iônica, polarização, MOS parasita devido à inversão da superfície, corrosão da metalização devido ao fósforo existente no PSG, pinhole ou buracos e stress. Estas instabilidades ou degradações podem ser: deslocamento na tensão de limiar, fuga no transistor de campo MOS, decréscimo do  $H_{fe}$  nos transistores bipolares e degradação da tensão de ruptura nas junções PN.

## 8) SUBSTRATO DE SILÍCIO

- Curto-circuito ou instabilidade decorrente de falhas de difusão.

- Centros de geração/recombinação na interface silício/óxido de componentes planares e portadores injetados no óxido.

- Degradação de junções semicondutoras devido a EOS e ESD.

- Ação de componentes parasitas (capacitores, transistores, SCR's, etc).

## 2.4) PRINCIPAIS ENSAIOS DE CONFIABILIDADE DE DISPOSITIVOS SEMICONDUTORES

### 2.4.1) GRUPO A - ENSAIO DE VIDA (HTB)

O ensaio de vida é realizado com o propósito de demonstrar ou caracterizar a confiabilidade dos componentes quando submetidos a determinadas condições de operação por um determinado período de tempo especificado. É típico o ensaio de vida realizado à temperatura ambiente de 125°C durante 2000 horas para circuitos integrados, com o componente polarizado sob tensão máxima nominal. Dependendo da especificação, a aplicação de tensão pode ser contínua ou intermitente, no sentido direto ou reverso das junções, e com a aplicação de sinais de entrada estáticos ou dinâmicos. Segundo a norma MIL-STD-883, "as condições ótimas de ensaio são aquelas que fornecem máxima tensão e esforço térmico às junções ou locais mais sujeitos a falha, mas que controlem a corrente do componente a um nível baixo", pois corrente excessiva pode causar avalanche térmica (com destruição do componente) e falhas excessivas por eletromigração. Os mecanismos de falha típicos podem ser principalmente: efeitos de superfície (inversão); eletromigração; ruptura dielétrica; degradação de contatos.

### 2.4.2) GRUPO B - ENSAIOS AMBIENTAIS

#### B1) Armazenamento em alta temperatura

Verificar a capacidade do componente suportar determinadas temperaturas de armazenamento, ou seja, quando não estiver em operação. Os componentes são colocados numa estufa tipicamente a temperaturas máximas de junção durante um intervalo de tempo típico de 1000 horas, sem tensão aplicada. Os mecanismos de falha típicos podem ser principalmente: interação intermetálica; reações entre o metal e o material semiconductor nas áreas de contato; envelhecimento de materiais plásticos; efeitos de difusão.

## B2) Ciclagem térmica (T/C)

Verificar a capacidade do componente suportar variações de temperatura às quais ele poderia estar sujeito durante uso em condições adversas. Consiste em exposições alternadas a determinados extremos de temperatura, por um certo número de ciclos. Cada ciclo constitui-se de uma exposição a cada extremo. Condições típicas são  $-65^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$  por 15 ciclos, com 10 minutos em cada extremo e tempo máximo de 12 minutos para transferência de um extremo a outro. Para aplicações automotivas é usual  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $85^{\circ}\text{C}$  por 1000 ciclos, às vezes com polarização dinâmica aplicada. Os mecanismos de falha podem ser principalmente: falhas nas ligações (aberto ou intermitente); trincas no chip ou metalização; perda de hermeticidade.

## B3) Choque térmico

Verificar a capacidade do conjunto de materiais usados na construção do componente suportar severas mudanças de temperatura. Consiste em exposição alternada a líquidos com alta e baixa temperatura, com tempos de transferência muito curtos. Condições típicas são  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$  por 15 ciclos, com 5 minutos em cada extremo e tempo de transferência máximo de 10 segundos. Os mecanismos de falha podem ser principalmente: falha nas ligações; trincas; delaminações; falhas de hermeticidade.

## B4) Atmosfera salina

Verificar a capacidade dos materiais usados em um componente suportarem o ambiente corrosivo típico da orla marítima ou a bordo de navios. Consiste em expor por 24 horas (ou até 240 horas) a uma névoa salina a  $35^{\circ}\text{C}$ , que deposita de 10 a 50 mg de sal por metro quadrado a cada 24 horas. Os mecanismos de falha podem ser principalmente: corrosão destrutiva (terminais danificados); carimbo ilegível; falha de hermeticidade.

#### B5) Ensaio "85/85" com polarização (T&H)

É o mais popular dentre os ensaios que envolvem temperatura/umidade/polarização. Verifica o grau de permeabilidade de componentes plásticos. São condições típicas colocar os componentes dentro de uma câmara a 85°C e com umidade relativa de 85%, durante 1000 horas, com polarização aplicada de modo a fornecer a máxima diferença de potencial (reversa) a um número máximo de pontos, mas com mínima dissipação de potência. Os mecanismos de falha podem ser principalmente: corrosão da metalização e terminais externos; migração metálica ou crescimento dendrítico entre terminais externos.

#### B6) Autoclave (panela de pressão)

Determinar o grau de permeabilidade de componentes com encapsulamento plástico. Pode ser considerado um ensaio de hermeticidade para componentes que não tem cavidade interna. Consiste em colocar os componentes em uma câmara com vapor de água saturado a 121°C, o que equivale a aproximadamente 15 lb/pol<sup>2</sup> de pressão interna (1,05 Kg/cm<sup>2</sup>). O mecanismo de falha pode ser principalmente: corrosão interna da metalização.

#### B7) Resistência a solventes

Verificar se o carimbo do componente não se tornará ilegível quando submetido a solventes normalmente usados para limpeza em linhas de montagem de placas eletrônicas. Verificar se os solventes causarão deterioração dos materiais do encapsulamento ou mal funcionamento elétrico. Consiste na imersão em um ou mais solventes especificados, seguidas de um número especificado de escovadas (tipicamente duas ou três). O mecanismo de falha pode ser remoção parcial ou completo do carimbo, impossibilitando a identificação do componente.

OBS: Para preparar as amostras para os testes de grupos A e B descritos acima, normalmente é executado o teste de falhas

prématuras, que simula certas condições de estocagem, montagem nas placas eletrônicas, etc. O objetivo é simular com máximo de realismo possível o que os componentes passam antes de serem usados nos produtos. Os passos a seguir são a seqüência de testes a que os componentes são submetidos no teste de falhas prématuras, estes passos foram obtidos empiricamente e são para circuitos integrados. (Este procedimento foi obtido pelo laboratório de pesquisa da IBM).

- a) Testes paramétricos de passa/não passa (go/nogo)
- b) 20 ciclos de temperatura de -40 a +125°C com as seguintes transições:
  - 1) -40°C por 25 minutos
  - 2) +25°C por 5 minutos
  - 3) +125°C por 25 minutos
  - 4) +25°C por 5 minutos
- c) Simulação da linha de montagem de placas eletrônicas
- d) Teste de T&H 85/85 por 168 horas sem polarização
- e) Teste de T&H 85/85 por 24 horas com polarização máxima
- f) Teste paramétrico passa/não passa

#### 2.4.3) GRUPO C - ENSAIOS MECÂNICOS

##### C1) Robustez dos terminais

Verificar a capacidade dos terminais do componente suportarem flexões, trações e torções normalmente encontrados em processos de montagem de placas eletrônicas. Aplicam-se trações, flexão única, flexão múltipla, torque do terminal, torque da capa ou invólucro, etc. Os mecanismos de falha podem ser: terminais quebrados; material do encapsulamento quebrado; falha de hermeticidade; etc.

##### C2) Soldabilidade

Verificar a capacidade dos terminais do componente aceitarem soldagem. Consiste em colocar os componentes em uma hora de envelhecimento em vapor de água, seguida de imersão por 5 segundos

a 10 segundos em fluxo semi-ativado e imersão por 5 segundos em solda a 260°C. O mecanismo de falha pode ser cobertura insuficiente de solda (90% a 95% no mínimo), devido à presença de oxidação, oleosidade, falhas no banho sobre o terminal.

#### C3) Resistência ao calor de solda

Verificar capacidade do componente suportar a alta temperatura encontrada durante a soldagem do mesmo em placas de circuito impresso. Consiste em imersão dos terminais durante 10 segundos em solda a 260°C, seguida de teste elétrico à temperatura ambiente. O mecanismo de falha pode ser a degradação dos parâmetros elétricos.

#### C4) Choque mecânico

Verifica a capacidade do componente suportar choques mecânicos normalmente encontrados durante montagem em placas de circuito impresso ou durante aplicação. Consiste em aplicar pulso (impulso mecânico) senoidal de meia-onda com duração e aceleração de pico especificados. Os mecanismos de falha podem ser principalmente: ligações ou chips levantados; encapsulamento ou chips quebrados; falha de hermeticidade; etc.

#### C5) Vibração

Verifica a capacidade do componente suportar vibrações típicas de aplicação. As duas condições básicas são a vibração aleatória e a senoidal. A vibração aleatória é normalmente feita na faixa de frequência de 50Hz a 2KHz. A vibração senoidal é tipicamente feita com aceleração de 20G (20 vezes a aceleração da gravidade), com a frequência variada de 20Hz a 2KHz numa progressão logarítmica. Os tempos de teste variam de alguns minutos a mais de 24 horas em cada eixo. Os mecanismos de falha podem ser principalmente: falhas elétricas devido a ligações levantadas ou devido a curto-circuito interno com partículas condutivas, falha de hermeticidade.

## 2.5) REFERÊNCIAS

- 1) MIL-STD-883B, Test methods and procedures for microelectronics  
Department Of Defense-USA. Aug., 1977  
US Government Printing Office- Washington, DC
- 2) MIL-STD-750, "Test methods for semiconductor devices"  
Department Of Defense-USA. 1963  
US Government Printing Office- Washington, DC
- 3) MIL-STD-202, "Test methods for electronic and electrical  
component parts"  
Department Of Defense-USA. 1963  
US Government Printing Office- Washington, DC
- 4) Especificação de engenharia IBM Part Number 873641  
"Mechanical and chemical requirements for plastic semiconductor  
packages"
- 5) Especificação de engenharia IBM Part Number 866348  
"Dual-in-line module mechanical requirements"
- 6) Semiconductor Reliability Handbook  
(Integrated Circuit) Toshiba, 1992
- 7) Accelerated Testing Handbook  
D.S. Peck & O.D. Trapp  
Technology Associates and Bell Telephone Lab., 1978
- 8) Microelectronics Failure Analysis Techniques - A Procedural  
Guide  
E. Doyle Jr. & B. Morris  
Rome Air Development Center, NY
- 9) Environmental Testing  
Ralph McCullough  
Texas Instruments Inc. Dallas, USA
- 10) Practical Reliability Engineering  
Patrick D.T. O'connor  
John Wiley & Sons, 2nd Ed., 1985
- 11) Quality Control Handbook  
J.M. Duran  
Ed. McGraw-Hill, 3a Ed.

- 12) Microelectronic Reliability  
Edward B. Hakim  
Artech House, vol. 1, 1989
- 13) Microelectronic Reliability  
Emiliano Pollino  
Artech House, vol. 2, 1989
- 14) IBM Corporate Standard C-S 0-0216-000  
"General quality acceptance requirements - IBM production Suppliers"
- 15) Norma ABNT NB9002 (ISO9002)  
"Sistemas da qualidade - Modelo para garantia da qualidade em produção e instalação"
- 16) Micro Electronic Packaging Technology- Materials & Processes  
Wei T. Shieh, Conference Proceedings, ASM Intern., 1989
- 17) Electronic Materials Handbook  
Vol. 1, Packaging, ASM Intern., 1989
- 18) Physics of Semiconductor Devices  
S.M. Sze  
John Wiley & Sons, 1981, 2nd Ed.
- 19) VLSI Technology  
S.M. Sze  
McGraw Hill Co., 2nd Ed., 1988
- 20) Silicon Processing for VLSI Era  
Stanley Wolf and Richard N. Tauber  
Lattice Press, Vol. 1 and 2,

## CAPÍTULO 3

### CÁLCULO DA TAXA DE FALHA MÉDIA

#### 3.1) INTRODUÇÃO [22]

O objetivo deste capítulo é demonstrar como podemos tirar informações a respeito da confiabilidade de componentes eletrônicos em um curto espaço de tempo. Como exemplo, a confiabilidade de um componente pode ser conhecida com certeza após o mesmo ter sido usado no campo até o final da sua vida útil. Mas para o propósito de se fazer algo a respeito da confiabilidade de tal componente, aquela informação não tem qualquer valor. Antes do fim da vida útil, a confiabilidade não pode ser conhecida com certeza, porém, um grande conhecimento sobre a confiabilidade pode ser acumulado em apenas um curto período de tempo, no seu início da vida útil.

São raras as situações em que se pode avaliar a confiabilidade de um componente dentro de suas condições normais de uso. Quanto mais confiável ele for, mais difícil é obter dados sobre sua confiabilidade, isto é, conseguir observar um número suficiente de falhas, dentro de um intervalo de tempo razoável.

Por exemplo, suponha que um componente tenha uma taxa de falhas constante de 0,01%/1000 horas. Para que 30% de amostras destes componentes falhassem, seria necessário acumular perto de 3000000 horas de ensaio. Ou seja, seriam necessárias 1000 amostras para que o ensaio se estendesse por 3000 horas, ou 4 meses de testes ininterruptos.

Torna-se então necessário recorrer aos ensaios acelerados, de modo a obter os mesmos dados num menor intervalo de tempo. Isto equivale a dizer que é preciso acelerar a ocorrência das falhas. Para tanto, usualmente segue-se o seguinte caminho [22]:

- Detecção e análise dos mecanismos de falha que afetam a tecnologia em questão;
- Determinação dos fatores de aceleração que determinam a ocorrência de cada mecanismo de falha, tais como: temperatura,

tensão, umidade, etc;

- Estudo do efeito do aumento do nível daqueles fatores de aceleração sobre a ocorrência das falhas;

- Desenvolvimento de algum modelo físico, em bases teóricas ou empíricas, que traduza numericamente a aceleração das falhas devido ao aumento dos níveis de aceleração. Usualmente estes modelos exprimem a vida em horas, ciclos, ou grandeza apropriada, em função dos fatores de aceleração.

Existem métodos e modelos matemáticos que nos auxiliam com o objetivo de conhecer o seu tempo de vida útil e conseqüentemente o nível de confiabilidade do componente em um tempo compatível para se decidir o uso ou não do mesmo em um produto novo a ser lançado no mercado. Neste capítulo veremos três tipos de aceleração e seus modelos matemáticos mais usados pela indústria eletrônica. Vale lembrar que o objetivo de uma qualificação é obter dados de confiabilidade num curto espaço de tempo, portanto é comum usar dados já obtidos pelos centros de pesquisa ou do fabricante.

O método abordado neste trabalho é um método tradicional de previsão do nível de confiabilidade usando teoria estatística e probabilidade. Este método apresenta algumas falhas e é contestada por um grupo de pesquisadores [9] que está desenvolvendo uma nova teoria que faz uma AVALIAÇÃO do nível de confiabilidade. O estudo e aplicação desta nova teoria está fora do escopo desta dissertação, mas será objeto de estudos futuros para a continuidade deste trabalho.

### 3.2) FATOR DE ACELERAÇÃO [22]

Vamos supor que um determinado número de amostras de componentes eletrônicos é submetido ao funcionamento em condições de uso e que seus tempos até falha,  $t_f$ , sigam uma certa distribuição de vida, decorrente da ocorrência de um determinado mecanismo de falha. Através do gráfico da figura 3.1, cujo gráfico representa uma certa distribuição de vida, o número de horas de uso necessário para que p% da amostra falhe é  $t_{pu}$ ; pode ser determinado. Considere agora a distribuição de vida quando as amostras são submetidas às condições de ensaio acelerado, conforme

mostra a figura 3.2. O tempo  $t_{pe}$  é o tempo necessário para que os mesmos p% da amostra falhem nestas condições estressantes.

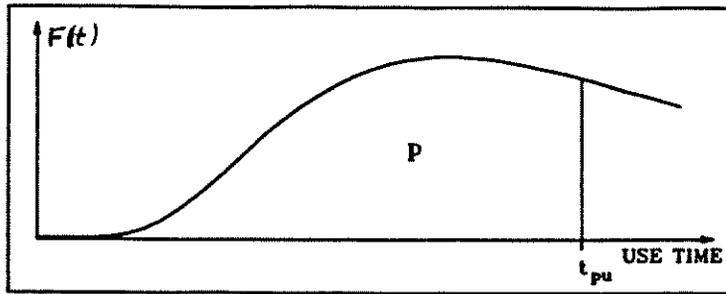


Fig. 3.1) Distribuição de vida em condições de uso [22]

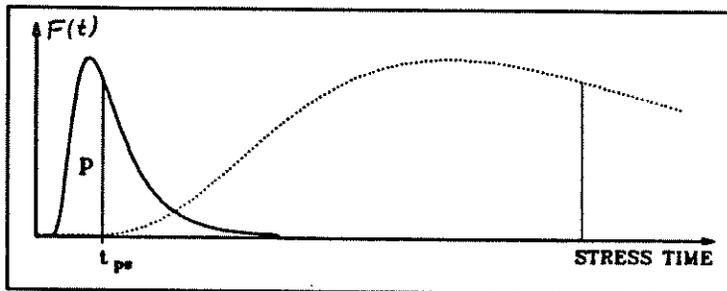


Fig. 3.2) Distribuição de vida em condições de ensaio acelerado [22]

Define-se como fator linear de aceleração ou simplesmente fator de aceleração, a relação entre os percentuais  $t_{pu}$  e  $t_{pe}$  :

$$AF = \frac{t_{pu}}{t_{pe}}$$

Vale lembrar que esta é uma definição teórica do fator de aceleração.

Um ponto importante em qualquer ensaio acelerado é a de que o mecanismo de falha mantenha-se inalterado e único, tanto nas

condições normais de uso ou nas condições de ensaio acelerado. A análise de falha é muito importante nos casos em que é necessário determinar ou identificar a presença de mecanismos de falha que não estão relacionados com o ensaio.

O fator de aceleração também pode ser entendido como o número de horas, em condições normais de uso, a que equivale a cada hora de um ensaio acelerado.

Suponha que se conheça um modelo de aceleração, em função de dois fatores de esforço T e U (por ex: Temperatura e Umidade):

$$A_F = f(T, U)$$

Se conhecemos os valores de T e U nas condições de uso e de ensaio acelerado, então pode-se calcular o fator de aceleração:

$$A_F = \frac{f(T_u, U_u)}{f(T_e, U_e)}$$

O número de horas acumuladas no ensaio acelerado,  $t_{ae}$ , pode ser extrapolada para horas equivalentes de uso:

$$t_u = A_F t_{ae}$$

que representa o tempo em condições de uso que seria necessário para obter o mesmo número de falhas observadas no ensaio acelerado.

Os modelos matemáticos dos fatores de aceleração são determinados através de processos empíricos baseados em dados experimentais, usando-se teorias físicas experimentais e químicas e com a ajuda da modelagem estatística sobre dados obtidos sob diferentes condições de ensaio acelerado. Sendo portanto um trabalho demorado e caro, e é executado somente por instituições de pesquisa ou pelos fabricantes das diferentes tecnologias disponíveis.

### 3.3) MODELOS DE ACELERAÇÃO

Existe em uso uma grande diversidade de modelos de aceleração, específicos para cada tecnologia de fabricação, ou mais particularmente ainda, para cada um dos vários mecanismos de falha que podem afetar uma dada tecnologia. Isto torna praticamente impossível uma abordagem de todos eles. Mostraremos apenas aqueles modelos de uso mais freqüente em microeletrônica.

#### 3.3.1) ARRHENIUS

Um dos modelos mais utilizados em confiabilidade de componentes é o modelo de Arrhenius, que descreve diversos mecanismos de falha que sejam determinados pela ocorrência de alguma reação química [19].

O fator de aceleração para este modelo pode ser determinado utilizando-se a equação de Arrhenius:

$$R = R_0 e^{-\frac{E_a}{kT}}$$

Onde: R= velocidade da reação

R<sub>0</sub>=constante da reação

E<sub>a</sub>= energia de ativação em eV

k= constante de Boltzmann (8,62x10<sup>-5</sup> eV/K)

T= temperatura absoluta (K)

Para a temperatura na condição de uso (T<sub>u</sub>), a equação de Arrhenius fica:

$$R_u = C e^{-\frac{E_a}{kT_u}}$$

Para a temperatura na condição de ensaio acelerado (T<sub>e</sub>), a equação de Arrhenius fica:

$$R_e = C e^{-\frac{E_a}{kT_e}}$$

O fator de aceleração é dada por:

$$A_F = \frac{R_e}{R_u} = \frac{C e^{-\frac{E_a}{kT_e}}}{C e^{-\frac{E_a}{kT_u}}} = e^{-\frac{E_a}{kT_e}} + \frac{E_a}{kT_u} \dots$$

$$A_F = e^{\frac{E_a}{k} \left( \frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_e} \right)}$$

É importante ressaltar que as temperaturas mencionadas acima referem-se à temperatura no interior do componente, no local em que se processa a reação química que o leva a falhar. No caso de um componente eletrônico deve-se levar em conta a potência dissipada e sua resistência térmica, para calcular a temperatura dentro do mesmo [18]:

$$T_J = T_a + \theta_{ja} P_D$$

Onde:  $T_a$  = temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\theta_{ja}$  = resistência térmica em  $^{\circ}\text{C}/\text{W}$  (dado pelo fabricante)

$P_D$  = potência dissipada pelo componente (W)

A energia de ativação média para componentes eletrônicos é característica de um determinado mecanismo de falha, o que por sua vez depende dos materiais e substâncias envolvidas na fabricação do componente. Cada componente apresenta diversos mecanismos de

falha, e conseqüentemente uma energia de ativação correspondente típica. Normalmente para o propósito de qualificar um componente, quando o objetivo é a de demonstrar a taxa de falha de determinado componente e não levantar as energias de ativação com testes de confiabilidade demorados, utilizamos de tabelas de energias de ativação médias divulgadas em diversas literaturas. Por exemplo, a tabela 3.1 apresenta uma lista de energias de ativação médias para cada tipo de componente eletrônico e não por cada mecanismo de falha específico [22].

A utilização desta tabela é possível desde que se leve em consideração que corremos risco se ocorrer alguma mudança no processo de fabricação dos componentes em questão. As duas considerações mais importantes são: i) Os fabricantes devem utilizar os mesmos materiais disponíveis no mercado; ii) Todos os fabricantes tem o seu processo de fabricação estáveis, ou seja, não se introduz nenhum outro mecanismo de falha além dos já considerados, possibilitando calcular o efeito médio resultante dos diversos mecanismos de falha.

Tabela 3.1) Energias de ativação médias por tecnologia [22].

TECNOLOGIA	Ea (eV)
CI digital bipolar	0,8
CI linear bipolar	0,7
CI MOS MSI e LSI	0,6
CI VLSI	0,5
CI falhas prematuras	0,44
Transistores e diodos	0,96
LED	0,8
Resistor de filme	0,1
Resistor de fio	0,05
Resistor de carbono	0,56
Capacitor eletrolítico alumínio	0,3-0,6
Capacitor cerâmico	0,11-1
Capacitor de filme plástico/metálico	0,12-1
Capacitor de tântalo	0,04-1,4
Transformadores e indutores	0,5
Placa de circuito impresso (FR-4)	1,4

### 3.3.2) PECK

Este modelo é usado para o ensaio 85/85 já discutido no capítulo anterior. Este modelo calcula separadamente a aceleração criada pela temperatura e pela umidade [16,19,21].

A equação do fator de aceleração é dada por:

$$A_F = \left\{ \left( \frac{H_{de}}{H_{du}} \right)^{2,66} \text{EXP} \left[ \frac{E_a}{k} \left( \frac{1}{T_{ju}} - \frac{1}{T_{je}} \right) \right] \right\}$$

Onde:  $H_{de}$  = umidade relativa no interior do dispositivo em condições de ensaio (%)

$H_{du}$  = umidade relativa no interior do dispositivo em condições de uso (%)

$T_{je}$  = temp. absoluta no interior do dispositivo em condições de ensaio (K)

$T_{ju}$  = temperatura absoluta no interior do dispositivo em condições de uso (K)

As umidades relativas no interior do componente, tanto em condições de uso ( $H_{du}$ ) ou em condições de ensaio ( $H_{de}$ ) são obtidas através das suas respectivas umidades relativas ambiente [16,19,21].

$$H_{de} = R_{He} \text{ EXP} \left[ 5230 \left( \frac{1}{T_{je}} - \frac{1}{T_{ae}} \right) \right]$$

$$H_{du} = R_{Hu} \text{ EXP} \left[ 5230 \left( \frac{1}{T_{ju}} - \frac{1}{T_{au}} \right) \right]$$

Onde:

$R_{He}$  = umidade relativa ambiente em condições de ensaio (%)

$R_{Hu}$  = umidade relativa ambiente em condições de uso (%)

$T_{ae}$  = temperatura ambiente absoluta em condições de ensaio (K)

$T_{au}$  = temperatura ambiente absoluta em condições de uso (K)

### 3.3.3) COFFIN-MANSON

Este modelo é usado para calcular o fator de aceleração do ensaio de ciclagem térmica.

O modelo (modificado) de Coffin-Manson [20] aplica-se ao mecanismo de fratura de juntas de solda por fadiga causada pela variação cíclica de temperatura. Tal situação ocorre quando componentes eletro-eletrônicos, com soldas internas ou soldados numa placa são ligados e desligados durante o uso, aquecendo-se pela dissipação de potência e em seguida resfriando-se quando o equipamento é desligado, simulando assim estas condições pela ciclagem de temperatura.

A fórmula utilizada para este cálculo é:

$$A_f = \left( \frac{\Delta T_e}{\Delta T_u} \right)^2$$

Onde  $\Delta T_e$  é a variação de temperatura durante o teste de ciclagem térmica e  $\Delta T_u$  é a variação de temperatura durante as condições normais de uso.

Esta fórmula nos dá o fator de aceleração em número de ciclos. Para termos o fator de aceleração em potência, devemos multiplicar por um fator que é obtido dividindo-se a vida útil do equipamento em horas (POH- Power-On-Hour) e o número de ciclos ON/OFF (liga/desliga) do equipamento. Este termo é chamado de power-on-hour por ciclo.

#### 3.4) CÁLCULO DO NÚMERO DE AMOSTRAS

Neste item veremos a teoria básica para calcular o número mínimo de amostras necessário para os testes de confiabilidade.

Vimos que para demonstrar a taxa de falha de dado componente, necessitamos fazer testes de confiabilidade usando uma amostragem do processo produtivo do fornecedor. Quando trabalhamos com amostragem é necessário o uso de técnicas estatísticas para estimar se as características da amostra valem ou não para toda a população. Neste trabalho usamos o teste de hipótese estatística para calcular o número mínimo de amostras necessário para os testes de confiabilidade.

Usando-se a taxa de falha requerida para o componente estabelecida pelos engenheiros de desenvolvimento de novos produtos e estabelecendo o nível de confiança para o teste de confiabilidade e definindo o número máximo de falhas, chamado de número de demonstração, partimos para aplicar o teste de hipótese estatística.

Veremos que a derivação da fórmula para calcular o número de amostras requer que se determine o número de demonstração ( $f_D$ ) como critério de aceitação ou rejeição do teste de hipótese para que o requisito de  $a_{fr}$  seja satisfeito. O  $f_D$  pode ser definido como um

número hipotético de falhas que podemos aceitar durante um determinado teste acelerado. Neste trabalho utilizamos um  $f_D$  de 2 a 4 falhas, pois para componentes eletrônicos sabemos que o número de falhas após o teste de confiabilidade não ultrapassa estes valores.

#### 3.4.1) METODOLOGIA PARA CÁLCULO DO NÚMERO DE AMOSTRAS

Esta secção apresenta o método usado para determinar o número mínimo de amostras necessário para demonstrar, para um dado nível de confiança, que o afr especificado é satisfeito.

Se um componente for posto sob condições de esforço, em algum instante especificado, digamos  $t_0$ , e observado até que falhe (isto é, até que pare de funcionar adequadamente sob o esforço aplicado), a duração até falhar ou duração da vida,  $t_0$ , pode ser considerada como uma variável aleatória contínua com alguma função distribuição de probabilidade  $f(t)$ . O emprego de um modelo probabilístico, com  $t_0$  considerado como uma variável aleatória, parece constituir-se no único tratamento realista do assunto.

Apresentamos inicialmente 3 definições necessárias:

Definição 1: A confiabilidade de um componente num dado instante  $t$ ,  $R(t)$ , é definida como  $R(t)=P(t_0>t)$ , onde  $t_0$  é a duração da vida do componente [15].  $R$  é denominada função de confiabilidade. A definição dada aqui, simplesmente afirma que a confiabilidade de um componente é igual à probabilidade de que o componente não venha a falhar durante o intervalo  $(0,t)$  (ou, de modo equivalente, confiabilidade é igual à probabilidade de que o componente ainda esteja em funcionamento na época  $t$ ). Por exemplo, se para uma dada peça,  $R(t_1)=0,90$ , isto significa que se usarmos  $n$  peças, aproximadamente 90% de tais peças, utilizadas sob dadas condições, estarão ainda em funcionamento na época  $t_1$ .

Em termos da função distribuição de  $t_0$ , digamos  $F$ , teremos:

$$R(t)=1-P(t_0\leq t)=1-F(t)$$

Portanto  $F(t)$  é a probabilidade de falha num dado instante  $t$ .

Além da função de confiabilidade  $R$ , outra função desempenha importante papel na descrição das características de falhas de uma peça:

Definição 2: A taxa de falhas (instantânea)  $h$  associada à variável aleatória  $t_0$  é dada por [15]:

$$h(t_0) = \frac{f(t_0)}{R(t_0)}$$

Onde  $f(t_0)$  é a função distribuição de probabilidade (fdp)

A taxa de falha média durante o período de tempo 0 até  $t_0$ , pode ser dada por:

$$\lambda(0, t_0) = \frac{\int_0^{t_0} h(t) dt}{t_0}$$

Definição 3: A função distribuição acumulada,  $F(t_0)$ , para uma distribuição exponencial é dada por [15]:

$$F(t_0) = 1 - e^{-\lambda(0, t_0)t_0} \quad (1)$$

Uma das mais importantes leis de falhas é aquela cuja duração até falhar é descrita pela distribuição exponencial. Poderemos caracterizá-las de muitas maneiras, mas, provavelmente, a maneira mais simples é supor que a taxa de falhas seja constante. Isto é,  $h(t)=k$ .

A hipótese de taxa de falhas constante pode também significar que, depois que a peça estiver em uso, sua probabilidade de falhar não se tenha alterado. Dizendo de maneira menos rigorosa, não existe efeito de "desgaste" quando o modelo exponencial é estipulado. E neste sentido poderemos dizer que a lei de falhas exponencial admite que a probabilidade de falhar seja independente do que se tenha passado (lack of memory). Quer dizer, enquanto a peça estiver funcionando ela será "tão boa quanto nova". Portanto não estaremos cometendo imprecisões significativas se considerarmos a lei de falhas exponencial para este trabalho.

Dessa forma, a taxa de falha média requerida ( $\lambda_R$ ) para um componente é a taxa de falha média associada para um período de tempo específico ( $0, t_R$ ), que normalmente corresponde ao tempo de garantia ou vida útil do produto.

A função distribuição acumulada (cdf) para uma dada taxa de falha requerida ( $\lambda_R$ ) em um período requerido ( $t_R$ ), pode ser obtida da equação (1).

$$F(t_R) = 1 - e^{-\lambda_R t_R}$$

No caso particular da função distribuição exponencial, onde a taxa de falha é considerada constante para qualquer instante do teste, temos que:

$$\lambda_R = \lambda_{EQ} = \text{constante}$$

onde  $\lambda_{EQ}$  é a taxa de falha para o tempo equivalente de teste acumulado ( $t_{EQ}$ ), ou seja,  $t_{EQ} = A_F t_R$ .

Assim, o valor de  $F(t_{EQ})$  é dada por:

$$F(t_{EQ}) = 1 - e^{-\lambda_R t_{EQ}} \quad (2)$$

Utilizaremos o método estatístico de teste de hipótese [14,15] para derivar a fórmula do número mínimo de amostras necessário para demonstrar a afr requerida.

O objetivo do teste estatístico de hipótese é fornecer ferramentas que nos permitam validar ou refutar uma hipótese (estatística) através dos resultados das amostras.

No nosso caso específico, queremos provar que o número de amostras colocados no teste terá o mesmo afr que o máximo requerido,  $\lambda_R(o, t_o)$ .

Desse modo, a hipótese nula será:

$$H_0: \lambda' = \lambda_R \text{ ou } f' = f_R$$

e a hipótese alternativa será:

$$H_1: \lambda' < \lambda_R \text{ ou } f' < f_R$$

Queremos, deste modo, provar que a hipótese alternativa é verdadeira, ou seja, a afr calculada após o teste de vida ( $\lambda'$ ) seja menor que a requerida ( $\lambda_R$ ).

Podemos cometer erros de dois tipos:

Erro do tipo I: rejeitar a hipótese nula quando esta é verdadeira. Chamamos de  $\alpha$  a probabilidade de cometer este erro, isto é,

$$\alpha = P(\text{erro tipo I}) = P(\text{rejeitar } H_0 / H_0 \text{ é verd.})$$

Erro do tipo II: não rejeitar  $H_0$  quando  $H_0$  é falsa. A probabilidade de cometer este erro é indicada por  $\gamma$ , logo:

$$\gamma = P(\text{erro tipo II}) = P(\text{não rejeitar } H_0 / H_0 \text{ é falsa})$$

Para um dado nível de significância  $\alpha$  (erro tipo I) existem valores de  $\lambda_m$  e  $f_D$ , na qual definem os critérios de rejeição, como se pode ver na fig. 3.3.

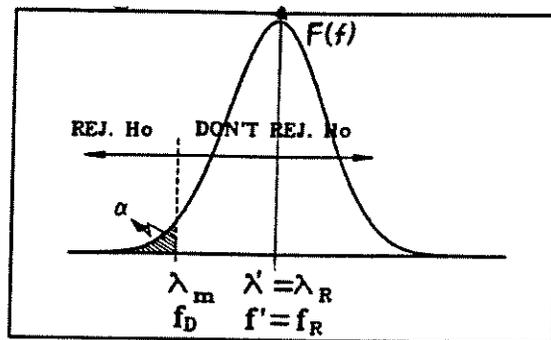


Fig. 3.3) Distribuição normal para teste de hipótese

Se após os testes de confiabilidade o número observado de falhas for menor ou igual a  $f_D$ , então  $H_0$  é rejeitado e adotamos a hipótese  $H_1$ , com nível de confiança  $\gamma = 1 - \alpha$ . Isto significa que conseguimos provar com um nível de confiança  $\gamma$  que a afr dos componentes sob teste tem valor abaixo da afr requerida. Em outras palavras, podemos dizer com um nível de confiança  $\gamma\%$  que o verdadeiro valor de afr é menor que  $\lambda_R$ .

Considerando que estamos testando um número  $n$  de amostras de componentes durante um período de tempo  $t$ , removendo os componentes que falham e sem reposição dos mesmos. Isto é o mesmo

que colocar um componente sob teste durante um tempo  $t$  e verificar se o mesmo falhou ou não (ensaio de Bernoulli) [15]. Se agora estendermos este ensaio para uma amostra de  $n$  componentes, é como se repetíssemos o ensaio de Bernoulli  $n$  vezes, ou como se diz também, obtemos uma amostra de tamanho  $n$  de uma distribuição de Bernoulli. Suponha ainda que as repetições sejam independentes, isto é, o resultado de um ensaio não tem influência nenhuma no resultado de qualquer outro ensaio. Uma amostra particular será constituída de uma seqüência de sucessos e fracassos, ou no nosso caso, após um tempo  $t$  de teste, o componente falhou ou não. Esta distribuição é a chamada distribuição binomial [15].

Basta então que se calcule a probabilidade binomial para obter o número mínimo de amostras para um número  $f_D$  de falhas, com nível de confiança  $\gamma$ .

$$\gamma = \text{Prob}(f > f_D) = 1 - \text{Prob}(f \leq f_D) = 1 - \text{FBI}(f_D)$$

$$\gamma = 1 - \sum_{r=0}^{f_D} \binom{n}{r} F(t_{EQ})^r [1 - F(t_{EQ})]^{n-r}$$

Esta distribuição binomial é muito trabalhosa e necessita de um grande esforço computacional. Apesar de que existem no mercado programas comerciais que utilizam a distribuição Binomial. Mas podemos usar algumas propriedades das distribuições estatísticas para chegar a uma fórmula mais fácil de trabalhar. A distribuição binomial pode ser aproximada para uma distribuição de Poisson, se levarmos em consideração que para componentes eletrônicos  $F(t_{EQ}) \ll 1$  e  $n > 50$  [14,15].

Assim, a distribuição de Poisson fica:

$$\gamma = 1 - \sum_{r=0}^{f_D} \frac{f^r}{r!} e^{-f}$$

Esta distribuição ainda continua demandando um grande esforço computacional, mas pode ser aproximada à distribuição  $\chi^2$  com uma transformação apropriada e considerando os graus de liberdade do sistema [6,14,15]. Vale lembrar que a função distribuição de Poisson é uma função distribuição exponencial onde as falhas ocorrem de acordo com um processo de Poisson e que as funções exponencial e  $\chi^2$  são casos particulares da função distribuição de probabilidade Gama. Assim os cálculos para se obter a função distribuição acumulada (cdf) são facilitados, pois a tabela de  $\chi^2$  é muito fácil de ser obtida e existe em qualquer livro texto sobre confiabilidade [1,23].

A relação entre a distribuição de Poisson e  $\chi^2$  é dada por:

$$F_{\chi^2(2f_D+2)}(2f') = 1 - F_{Po}(f_D) = \gamma$$

isto é, a probabilidade  $\gamma$  da distribuição  $\chi^2$  com  $2f_D+2$  graus de liberdade é igual a  $2f'$ .

$$\chi^2(2f_D+2, \gamma) = 2f' = 2nF(t_{EQ})$$

Dessa forma,

$$n = \frac{\chi^2(2f_D+2, \gamma)}{2F(t_{EQ})} \quad \text{para} \quad \begin{cases} F(t_{EQ}) \ll 1 \\ n > 50 \end{cases} \quad (3)$$

Mas para pequenos valores de  $\lambda_R t_{EQ}$ , a equação (2) pode ser aproximada por:

$$F(t_{EQ}) = 1 - e^{-\lambda_R t_{EQ}} \cong \lambda_R t_{EQ}$$

Conseqüentemente a equação (3) fica:

$$n = \frac{\chi^2(2f_D+2, \gamma)}{2 \lambda_R t_{EQ}} \quad (4)$$

onde  $t_{EQ} = A_F t_R$ , gerando a equação:

$$n = \frac{\chi^2(2f_D+2, \gamma)}{2 \lambda_R A_F t_R} \quad (5)$$

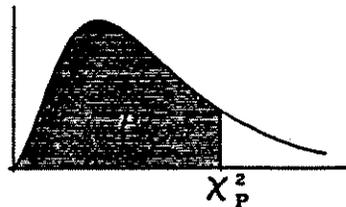
A tabela a seguir é a distribuição  $\chi^2$  que é encontrada em livros textos de confiabilidade [1,23].

Tabela 3.1) tabela de chi-quadrado [1,23].

**Percentiles of the Chi-square Distribution**

For example, with 6 degrees of freedom (DF) and 60% probability, the chi-square percentile is 6.240, i.e.,

$$\text{Prob}_{DF=6}(\chi^2 \leq 6.240) = 0.60$$



DF	PROBABILITY P								
	0.05	0.10	0.20	0.40	0.50	0.60	0.80	0.90	0.95
2	0.103	0.211	0.446	1.022	1.386	1.832	3.219	4.605	5.991
4	0.711	1.064	1.649	2.752	3.357	4.044	5.989	7.779	9.448
6	1.635	2.204	3.070	4.572	5.348	6.240	8.558	10.645	12.592
8	2.733	3.490	4.594	6.424	7.344	8.320	11.030	13.362	15.507
10	3.940	4.865	6.179	8.300	9.342	10.500	13.442	15.987	18.307
12	5.226	6.304	7.807	10.176	11.340	12.600	15.812	18.549	21.026
14	6.571	7.790	9.467	12.082	13.339	14.700	18.151	21.064	23.685
16	7.962	9.312	11.152	13.984	15.338	16.800	20.465	23.542	26.296
18	9.390	10.865	12.857	15.894	17.338	18.900	22.760	25.989	28.869
20	10.851	12.443	14.578	17.800	19.337	21.000	25.038	28.412	31.410
22	12.338	14.041	16.314	19.734	21.337	23.100	27.301	30.813	33.924
24	13.848	15.659	18.062	21.648	23.337	25.200	29.553	33.196	36.415
26	15.379	17.292	19.820	23.982	25.336	27.300	31.795	35.563	38.885
28	16.928	18.933	21.588	25.508	27.336	29.120	34.027	37.916	41.337
30	18.493	20.599	23.364	27.450	29.336	31.200	36.250	40.256	43.773

### 3.5) CÁLCULO DA TAXA DE FALHA MÉDIA

Usa-se a mesma fórmula do cálculo do número de amostras para se calcular a taxa de falha média após o teste de confiabilidade. Usa-se  $f_0$  como sendo o número de componentes que falharam durante o teste e com um nível de confiança adequado de aproximadamente 50, 60 ou 90%. A fórmula fica como mostrada a seguir:

$$\lambda_{R=af_r} = \frac{\chi^2(2f_0+2, \gamma)}{2 n_{AF} t_R} \quad (6)$$

### 3.6) REFERÊNCIAS

- 1) Applied Reliability  
Tobias, P.A. and Trindade, D.C. (1986),  
Van Nostrand Reinhold Co., New York, NY
- 2) Handbook of Reliability Engineering and Management  
Ireson and Coombs (1988)  
McGraw Hill, New York, NY
- 3) Practical Reliability Engineering  
O'Connor, P.D.T. (1985)  
2nd Ed. John Wiley and Sons, New York, NY
- 4) Mechanical Reliability  
Carter, A.D.S. (1986)  
2nd Ed. Macmillan Education LTD, London, UK
- 5) Reliability: Management, Methods and Mathematics  
Lloyd, D.K. and Lipow, M. (1984)  
2nd Ed. 5th printing by ASQC, Milwaukee, WI
- 6) Reliability, Maintainability and Availability Assessment  
Locks, M.O. (1973)  
Hayden Book Co., Rochelle Park, NJ
- 7) Methods of Statistical Analysis of Reliability and Life Data  
Mann, Schafer and Singpurwalla (1974)  
John Wiley and Sons, New York, NY

- 8) Probability and Statistics for Engineers and Scientists  
Walpore, R.E. and Myers, R.H. (1978)  
2nd Ed. Macmillan Publ. Co., New York, NY
- 9) Predicting the Reliability of Electronic Equipment  
Michael G. Pecht & Franklin R. Nash  
Proceedings of the IEEE, Vol. 82, No 7, July 1994
- 10) Reliability Prediction of Electronic Equipment  
MIL-HDBK-217F. Washington, DC: U.S. Gov. Printing Office  
December 1991
- 11) MIL-Reliability: A new approach  
G. F. Waston  
IEEE Spectrum, Vol. 29, pp. 46-49, Aug.1992
- 12) New concerns about integrated circuit reliability  
D. S. Peck  
16th Ann. Proc. Reliab. Phys. Symp., p. 1, 1978
- 13) A survey of reliability-prediction procedures for  
microelectronics devices  
IEEE Transactions on Reliability  
Vol. 41, No. 1, p. 2, Mar. 1992
- 14) Estatística Básica  
Wilton O. Bussab & Pedro A. Morettin  
4a Edição - Atual Editora
- 15) Probabilidade - Aplicações à Estatística  
Paul L. Meyer  
2a Edição, 1983 - Livros Técnicos e Científicos Editora
- 16) A Comprehensive Model for Humidity Testing Correlation  
D. S. Peck  
IRPS, 24th Annual Proceedings, p. 44, 1986
- 17) New Concerns About Integrated Circuit Reliability  
D. S. Peck  
IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-26, Jan. 1979
- 18) Thermal Response of Semiconductors  
Jan Gustavsen & William Roehr  
Motorola Sem. Products Inc. - Application Note AN-292
- 19) Microelectronic Reliability  
Edward B. Hakim & Emiliano Pollino  
Artech House, 1989, Vol. I e II

- 20) Reliability of Controlled Collapse Interconnections  
Landzberg, A.H. & Norris, K.C.  
IBM Journal of Research and Development 13(3), 1969
- 21) Accelerated Testing Handbook  
D.S. Peck & O.D. Trapp  
Technology Associates and Bell Telephone Lab., 1978
- 22) Tópicos sobre qualidade e confiabilidade de semicondutores  
Eduardo Corrêa de Moura  
Qualitec - Notas de aula
- 23) How to Determine Sample Size and estimate Failure Rate in  
Component Life Test  
Eduardo Corrêa de Moura  
American Society for Quality Control - Vol. 15

## CAPÍTULO 4

### ESTUDO DE CASO I: QUALIFICAÇÃO DE LED

#### 4.1) INTRODUÇÃO

Neste capítulo e nos dois próximos apresentaremos resultados de estudos de casos de qualificação de componentes eletrônicos. Por motivos éticos não mencionaremos os nomes dos fabricantes e nem o código dos componentes, apenas denominaremos de FORNECEDOR e TIPO para o componente em questão. Neste capítulo apresentaremos uma descrição mais completa incluindo todas as etapas da qualificação de diodos emissores de luz (LED).

#### 4.2) OBJETIVOS DA QUALIFICAÇÃO

Estabelecer que a família de LED's do fornecedor tenha um nível de qualidade, confiabilidade e funcionalidade compatíveis com os requisitos requeridos para o produto e verificar a compatibilidade dos componentes com os seguintes requisitos:

a) Taxa de falhas média de 0,013%/KPOH, ou seja, 0,013% de falhas para cada 1000 horas de uso (POH = Power-On-Hour), ou 130 FITs (Failure-In-Time). 1 FIT = 0,0001%/KPOH. Valores para um nível de confiança de 50%.

b) Garantir que o produto do fornecedor seja compatível com as especificações dos grupos A, B e C.

c) Verificar se há necessidade de um maior controle sobre algum parâmetro do processo de montagem do fornecedor.

#### 4.3) DESCRIÇÃO DO COMPONENTE

Utilizaremos nesta qualificação 4 tipos diferentes de LED's, mas todos com o mesmo processo de montagem. Vale lembrar que esta qualificação visa somente aplicar testes suficientes para verificar a confiabilidade do encapsulamento, uma vez que o fornecedor já possui qualificação para o processamento das

pastilhas no exterior.

As cores emitidas são determinadas através do tipo do cristal e de sua dopagem:

GaAs/GaAlAs	:Infra-vermelho
GaAsP (depende da conc. de fósforo)	:Vermelho até amarelo
GaP dopado com Zinco e Oxigênio	:Vermelho
GaP dopado com Nitrogênio	:Verde e amarelo

Abaixo as especificações técnicas dos 4 tipos de LED's usados:

#### TIPO 1

Cor	Vermelho alta intensidade
Tecnologia	GaAsP (TSN)
Comprimento de onda	635 ± 15 nm
Encapsulamento	Vermelho cristalino
Intensidade luminosa Iv(If=20mA)	4,0/8,0 mcd (mín/máx)
Meio ângulo (graus)	±12
Tensão direta máxima (If=20mA)	≤3,0V
Corrente direta máxima	60 mA

#### TIPO 2

Cor	Amarelo
Tecnologia	GaAsP (TSN)
Comprimento de onda	590 ± 10 nm
Encapsulamento	Amarelo cristalino
Intensidade luminosa Iv(If=20mA)	4,0/8,0 mcd (mín/máx)
Meio ângulo (graus)	±25
Tensão direta máxima (If=20mA)	≤3,0V
Corrente direta máxima	60 mA

#### TIPO 3

Cor	Amarelo
Tecnologia	GaAsP (TSN)
Comprimento de onda	590 ± 10 nm
Encapsulamento	Amarelo topo difuso
Intensidade luminosa Iv(If=20mA)	4,0/8,0 mcd (mín/máx)

Meio ângulo (graus)	±50
Tensão direta máxima (If=20mA)	≤3,0V
Corrente direta máxima	60 mA

#### TIPO 4

Cor	Verde
Tecnologia	GaP (TSN)
Comprimento de onda	560 ± 15 nm
Encapsulamento	Verde topo difuso
Intensidade luminosa Iv(If=20mA)	4,0/8,0 mcd (mín/máx)
Meio ângulo (graus)	±50
Tensão direta máxima (If=20mA)	≤3,0V
Corrente direta máxima	60 mA

#### 4.4) CONDIÇÕES TÍPICAS DE USO ASSUMIDAS PARA O COMPONENTE

Vida útil do produto	100 KPOH (Kilo Power-On-Hour)
Obs: 100 KPOH corresponde a aproximadamente 11 anos de vida útil.	
Ciclos liga/desliga do produto	3000
Temp. interna do produto	Ta(BOX)=45°C
Temperatura ambiente	Tau=25°C
Umidade relativa	RHu=55%
Resistência térmica junção/ar	θja=375°C/W
Tensão direta no diodo	Vf=+2,06V
Corrente de polarização	If=13,85mA
Dissipação de potência	Pd=28,53mW
Temp. de junção (Tj=Ta+θja*Pd)	Tj=55,7°C

Obs: Os dados de resistência térmica foram fornecidos pelo fabricante.

#### 4.5) QUESTIONÁRIO DO PROCESSO

Neste item apresentaremos dados do processo de encapsulamento do fornecedor para o LED TIPO 1. Para os outros tipos, o processo é semelhante.

## QUESTIONÁRIO DO PROCESSO

Nome do fornecedor	Fornecedor 1
Código do componente	TIPO 1
Descrição do componente	Pictográfico, amarelo, topo difuso, terminal longo com "stop"
Linha de fabricação do wafer	FV 131
Nível de revisão do wafer	NQA 0,1
Processo de metalização	Liga de ouro
Dimensão da pastilha ( $\mu\text{m}$ )	300X300X240 (ladoXladoXaltura)
Máx. dissipação de pot, 25°C	150 mW

### AMBIENTE DE ENCAPSULAMENTO

Controle de temperatura	Sim (25 $\pm$ 5°C)
Controle de umidade	Não

### PREPARAÇÃO PARA COLAGEM DA PASTILHA (DIE ATTACH)

Inspeção visual antes da colagem	
Frequência	Por material recebido
Microscópio óptico (aumento)	4 vezes
Critério	visual
Qualidade	Sim
Frequência	Por material recebido
Microscópio óptico (aumento)	4 vezes
Critério	visual

### COLAGEM DA PASTILHA

Fabricante do equipamento	ESEC
Modelo	2004
Tipo de encapsulamento	Plástico (Epoxy)
Composição do metal (Lead Frame)	Cu-Zn
Cobertura superficial	Ag

Nome do fabricante	Siemens/Degussa
Número do catálogo	A1380 C3
Tipo do adesivo	Ablebond 826-1
Fabricante do adesivo	Ablestik
Número do catálogo	AB 826-1
Existe data de expiração no conteúdo	Sim
Existe número do lote no conteúdo	Sim
Tipo de alinhamento	Manual
Cura do adesivo	Estufa de cura
Equipamento de cura	Heraeus
Temperatura	150°C
Tempo	60 minutos
Atmosfera	Nitrogênio
Frequência de limpeza da estufa	Diária

#### INSPEÇÃO VISUAL APÓS COLAGEM

Alt. máx. da cola nas beiradas	2/3 da altura do chip
Alt. mín. da cola nas beiradas	1/3 da altura do chip
Frequência	100%
Microscópio óptico (aumento)	4 vezes

#### TESTES DE INTEGRIDADE DA COLA

Método	Mecânico (Levantamento)
Máx. área sem cola abaixo da pastilha	2/3 da área da pastilha
Equipamento	Pinça-manual
Frequência	Amostragem por lote
Microscópio óptico (aumento)	20 vezes

#### SOLDA DO FIO DE OURO-BOLA (WIRE BOND)

Método	Termossônico
Fabricante do equipamento	Kulicke and Soffa
Modelo	479
Composição do fio	Ouro ( Elon 3.5% - 5.5% TS 7-10 grs)

Diâmetro	25 µm
Fabricante	Dr. Muller Feindraht AG LH-8800
Fabricante do capilar	Micro Swiss
Modelo	Pin 41413-0013 320
Direção da fiação	Da pastilha para o terminal
Temperatura de aquecimento	350 a 360°C
Tempo máx. de aquecimento	3 segundos
Temperatura do bloco	370°C
Pressão do capilar	62 grs(past.) - 120 grs(ter)

#### INSPEÇÃO VISUAL DA BOLA DE OURO

Frequência	100%
Microscópio óptico (aumento)	4 vezes
Observa-se	Centralização, qtde de ouro, formato

#### TRAÇÃO DA BOLA DE OURO

Fabricante do equipamento	Correx
Força aplicada na bola	30 grs
Método de tração do fio	Gancho
Máx. tração	10 grs
Mín. tração	4 grs

#### ENCAPSULAMENTO PLÁSTICO

Tipo de moldagem	Máquina de enchimento
Fabricante do molde	Brasmolde S/A
Número de cavidades	5
Fabricante do plástico	Ciba-Geigy
Número do catálogo	L18
Pre-molde - prep. do plástico	
Tempo máx. de armazenamento	6 meses
Temp. de aquecimento	100°C
Frequência de lavagem do molde	Os moldes não são lavados e sim substituídos

Obs: Ocupa-se os moldes para o processo integral por aproximadamente 18 vezes.

#### ARMAZENAMENTO DO PLÁSTICO

Temperatura de armazenamento	25±5°C
Tempo máx. de armazenamento	6 meses (*)
Sistema de controle de inventário	Via relatório de CQ
Inspeção de recebimento	(**)

\* A data de expiração é controlada através do relatório feito pelo laboratório de CQ

\*\* Verifica-se a data de fabricação da resina e estipula-se o seu prazo de validade através do laboratório de CQ.

#### CURA DO MOLDE

Fabricante da estufa	Estufa master
Temperatura	150°C
Tempo	18 minutos

\* A pré-cura é feita em estufa contínua a 150°C por 18 minutos.  
A cristalização é feita em estufa estática a 150°C por 4 hrs.

#### ACABAMENTO FINAL

Modelo do equipamento	Sate/Aute (*)
Inspeção final	Sim
Frequência	100%
Critério	Riscos, manchas, sujeiras
Ações corretivas	Troca de cavidade Uso de desmoldante

\* Sate/Aute - Refere-se a equipamento de corte/teste manual onde o componente emite luz possibilitando visualizar falhas (sujeiras, riscos, contato aberto).

Este questionário preparado pelo fornecedor visa obter informações suficientes para a auditoria do processo de encapsulamento, ou seja, o auditor usará o mesmo como guia e verificará se todas as etapas estão sendo seguidas pelo fornecedor. Uma análise inicial deste questionário nos mostra que o fornecedor tem o processo de encapsulamento dentro dos padrões especificados. Se por algum motivo for encontrado alguma falha neste processo de encapsulamento descrito no questionário durante os testes de confiabilidade, então far-se-á uma revisão no processo. Se for necessário alguma alteração, o fornecedor será notificado.

#### 4.6) RESULTADOS DA ANÁLISE DE CONSTRUÇÃO

A análise de construção verificou os seguintes aspectos dos componentes:

- Inspeção externa
- Raios x
- Decapsulamento e inspeção interna
- Testes de tração do fio de ouro (wire-pull)
- Avaliação dos terminais
- Flamabilidade
- Dimensões externas
- Análise via SEM e microanálise interna

A seguir mostraremos os principais resultados deste trabalho:

- 1) A figura 4.1 mostra os quatro tipos de LEDs analisados.
- 2) A figura 4.2 mostra o raio-X do LED TIPO I. Note a formação irregular do fio de ouro.
- 3) A figura 4.3 mostra o raio-X do LED TIPO II, com formato do fio de ouro normal.
- 4) A figura 4.4 mostra a montagem do chip do LED no seu suporte após decapsulamento.
- 5) A figura 4.5 mostra um LED vermelho polarizado sem problemas.
- 6) A figura 4.6 mostra bolhas no encapsulamento do LED TIPO I
- 7) A figura 4.7 mostra falta de cobertura de solda nos

terminais

8) As figuras 4.8 e 4.9 mostram o formato do fio de ouro inadequado, indicando que o equipamento de soldagem do fio de ouro está mal ajustado.

9) A figura 4.10 mostra o dispositivo depois de decapsulado.

10) A figura 4.11 mostra uma bola de ouro descentralizada, indicando um mal ajuste do equipamento.

11) A figura 4.12 mostra uma bola de ouro deformada, indicando que houve um desajuste de algum parâmetro do equipamento.

12) A figura 4.13 mostra um ponto de solda (stitch-bond) deformado, indicando também algum desajuste do equipamento. O ponto de solda é a solda do fio de ouro no terminal.

13) A figura 4.14 mostra um ponto de solda com formação normal

14) A figura 4.15 mostra detalhes da serragem da pastilha com formato normal.

15) A figura 4.16 mostra uma disposição irregular da colagem da pastilha (die-attach). Há falta de adesivo do lado esquerdo da pastilha.

16) As figuras 4.17 e 4.18 mostram mais detalhes da colagem da pastilha (DIE-ATTACH).

17) A figura 4.19 mostra uma foto da secção em corte da bola de ouro, com formação normal.

18) A figura 4.20 mostra detalhes da interface bola de ouro-pastilha sem problemas.

19) As figuras 4.21 e 4.22 mostram fotos da análise de falhas de dois LED's que falharam durante a qualificação. Observa-se na fig. 4.21 que a bola de ouro arrancou o PAD de alumínio, isto pode ter sido provocado por um desajuste na temperatura da solda da bola de ouro e também na pressão da bola de ouro durante soldagem, provocando uma quebra do PAD. A fig. 4.22 mostra que a bola de ouro estava muito descentralizada (10% da área) não dando aderência suficiente.

Esta análise de construção nos proporcionou uma visão do processo de encapsulamento do fornecedor. Encontramos uma nítida noção de que o fornecedor não controla o processo, ou seja, não existe ou existe precariamente um controle de processo estatístico. As fotos que mostram formações irregulares na bola de ouro, fio de ouro em formato inadequado são causadas quando o equipamento sai fora de controle. Neste caso, se existisse um controle estatístico de processo eficaz, estes problemas seriam identificados imediatamente. Além destes problemas observamos um desajuste no processo da colagem da pastilha (DIE-ATTACH).

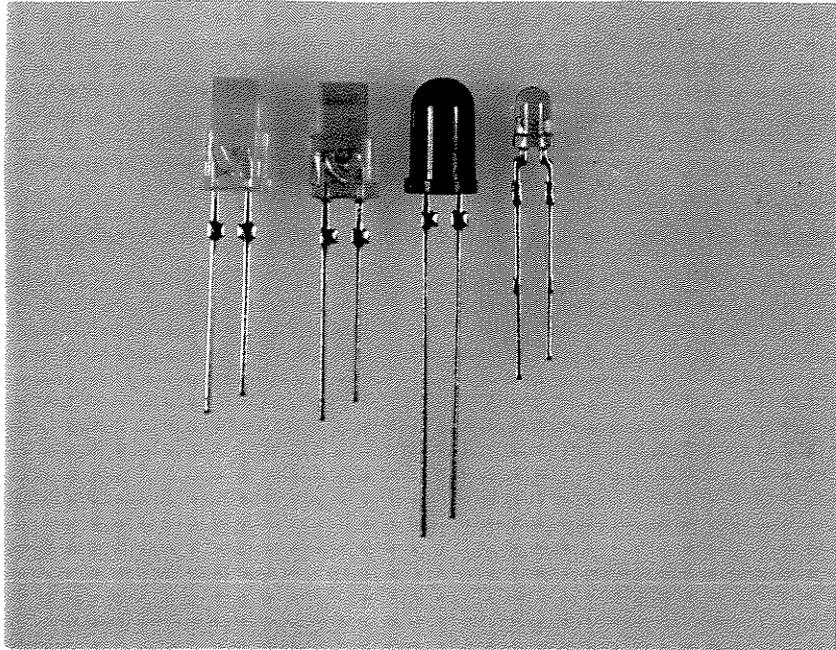


Fig.4.1) Os quatro tipos de LEDs analisados.  
Foto obtida via Microscópio óptico

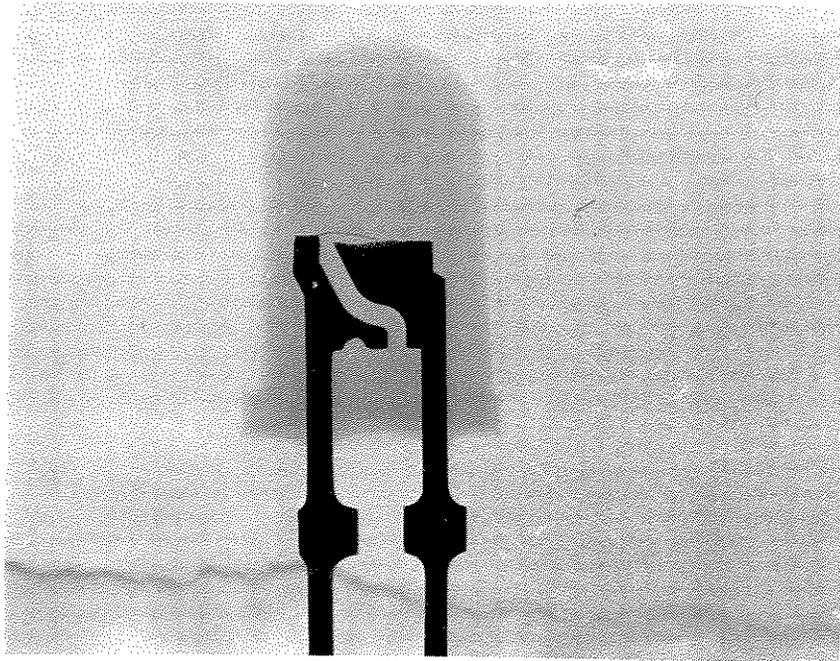


Fig. 4.2) Raio-X de um dos tipos.



Fig. 4.3) Mostra Raio-X com detalhes do fio de ouro

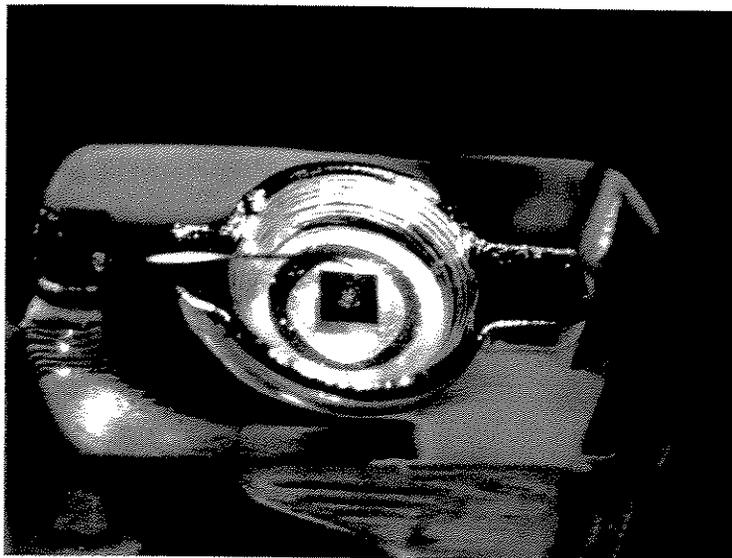


Fig. 4.4) Montagem do chip do LED no seu suporte  
Foto obtida Via microscópio óptico

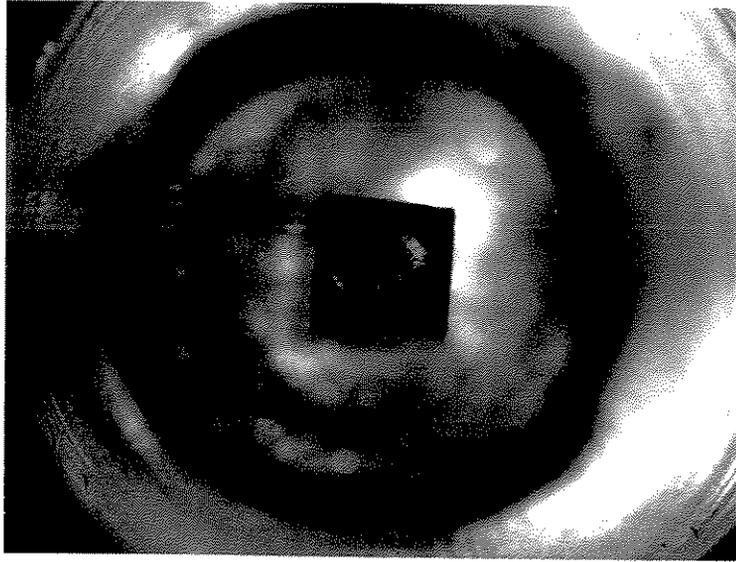


Fig. 4.5) LED vermelho polarizado.  
Foto obtida Via microscópio óptico



Fig. 4.6) Bolhas no encapsulamento de um LED  
Foto obtida Via microscópio óptico

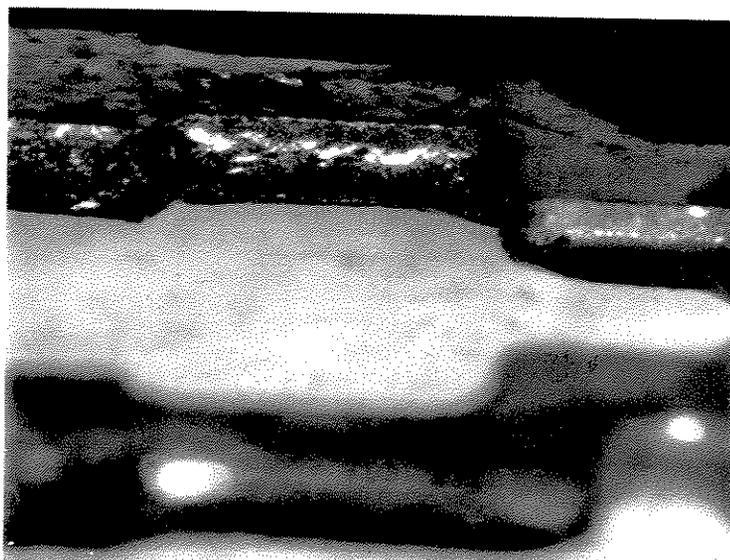


Fig. 4.7) Falta de cobertura de solda nos terminais  
Foto obtida Via microscópio óptico

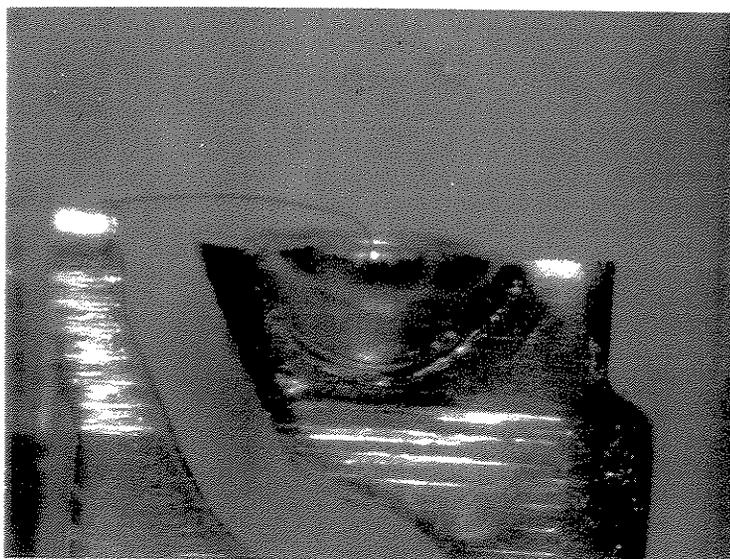


Fig. 4.8) Formato do fio de ouro inadequado  
Foto obtida via microscópio óptico

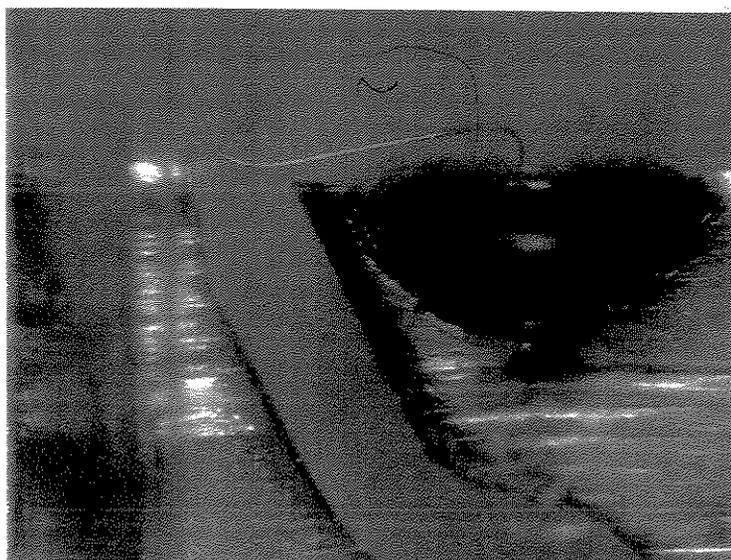


Fig. 4.9) Formato do fio de ouro inadequado  
Foto obtida Via microscópio óptico

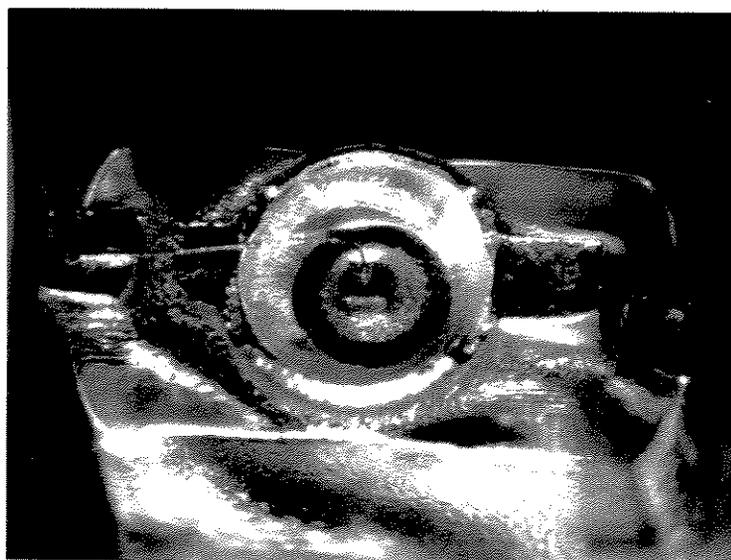


Fig. 4.10) Detalhes do LED após decapsulado  
Foto obtida Via microscópio óptico

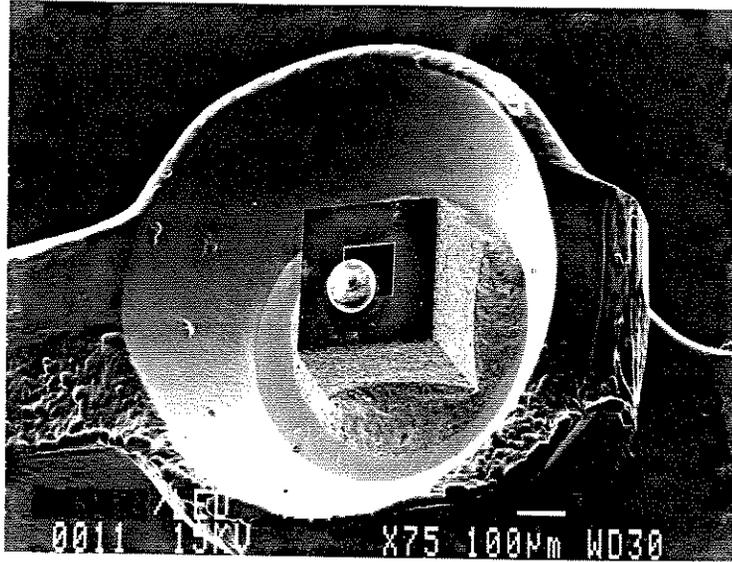


Fig. 4.11) Bola de ouro descentralizada  
Foto obtida Via microscópio eletrônico (SEM)

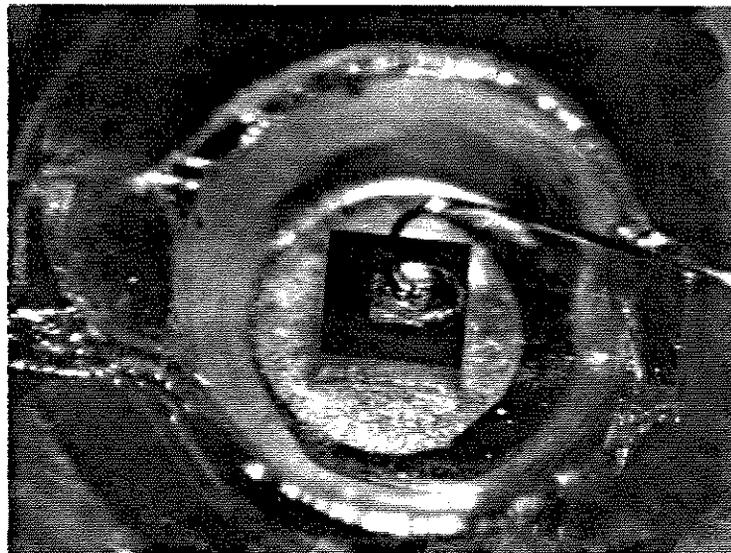


Fig. 4.12) Bola de ouro deformada  
Foto obtida Via microscópio óptico

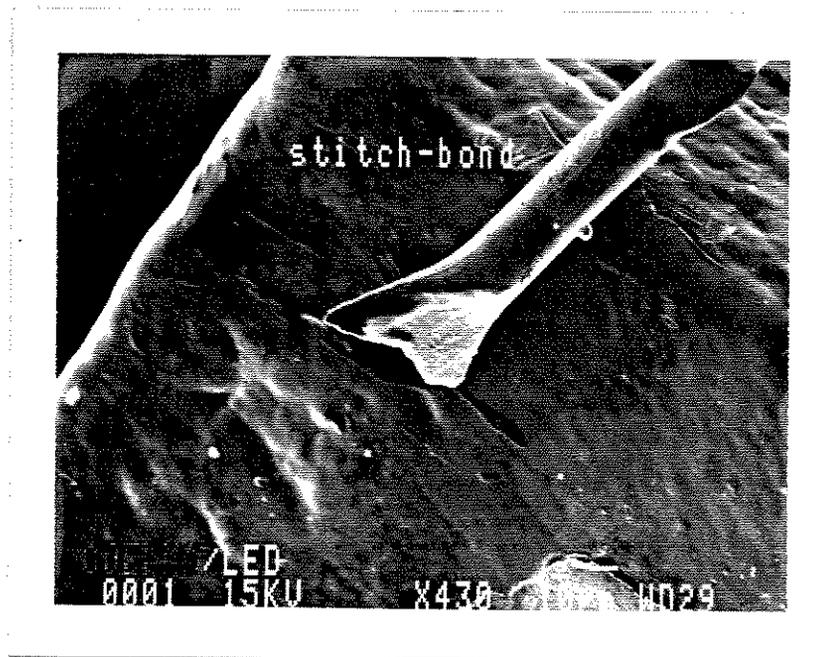


Fig. 4.13) Ponto de solda deformado  
Foto obtida Via microscópio eletrônico (SEM)

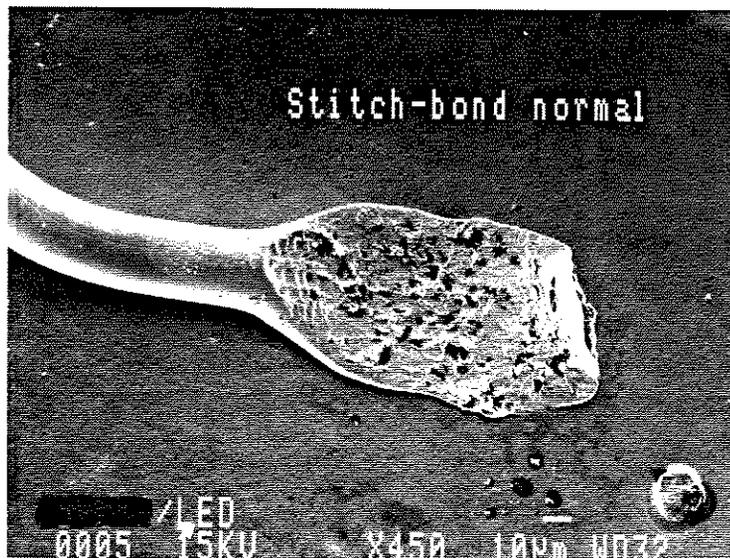


Fig. 4.14) Ponto de solda com formato normal  
Foto obtida Via microscópio eletrônico (SEM)

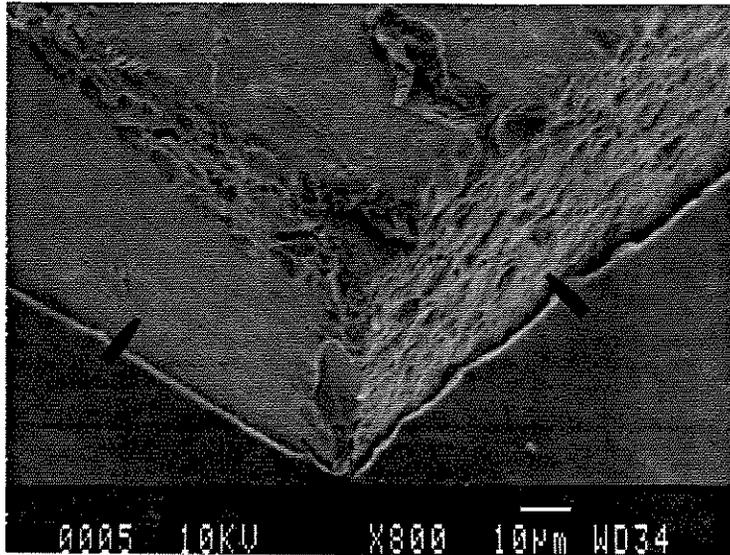


Fig. 4.15) Detalhes da serragem da pastilha  
Foto obtida Via microscópio eletrônico (SEM)

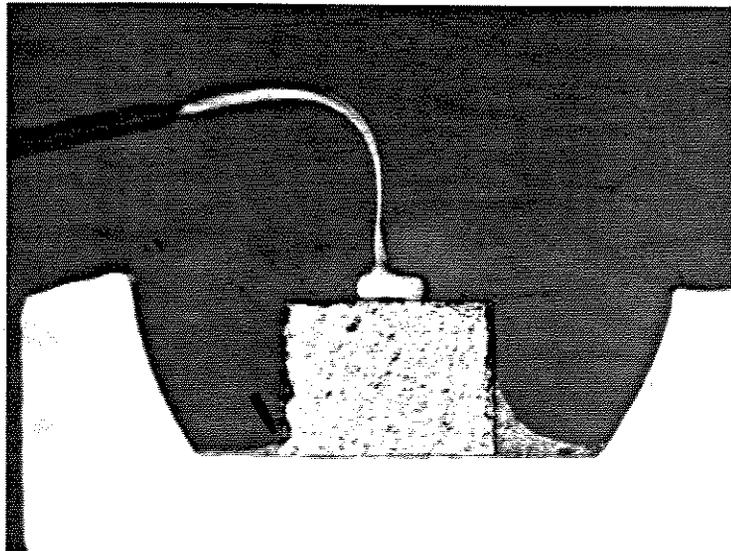


Fig. 4.16) Disposição irregular do die-attach  
Foto obtida Via microscópio óptico

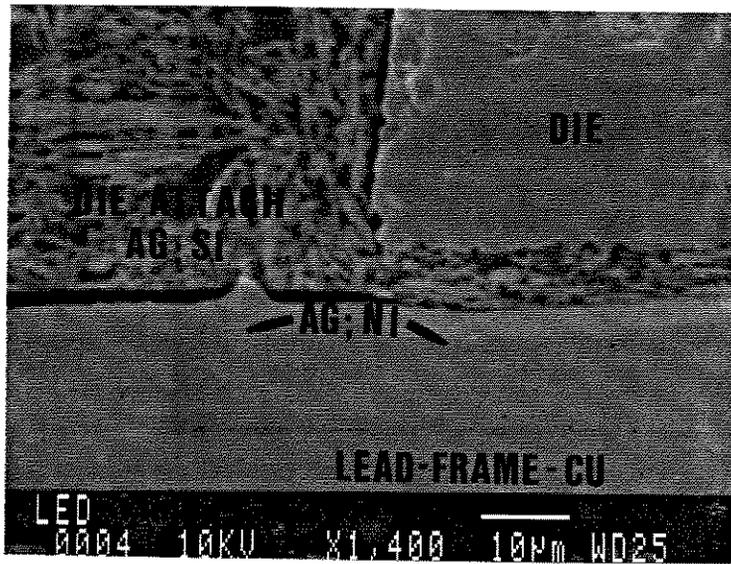


Fig. 4.17) Detalhes da colagem da pastilha (DIE-ATTACH)  
Foto obtida Via microscópio eletrônico (SEM)

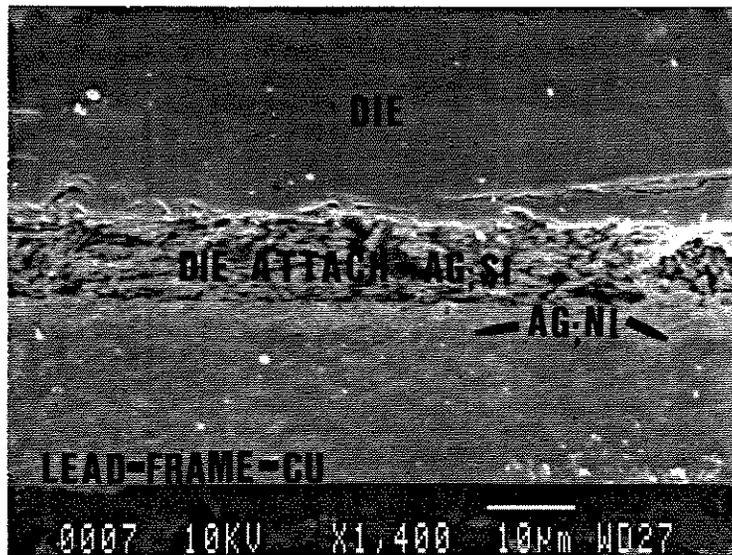


Fig. 4.18) Detalhes da colagem da pastilha (DIE-ATTACH)  
Foto obtida Via microscópio eletrônico (SEM)

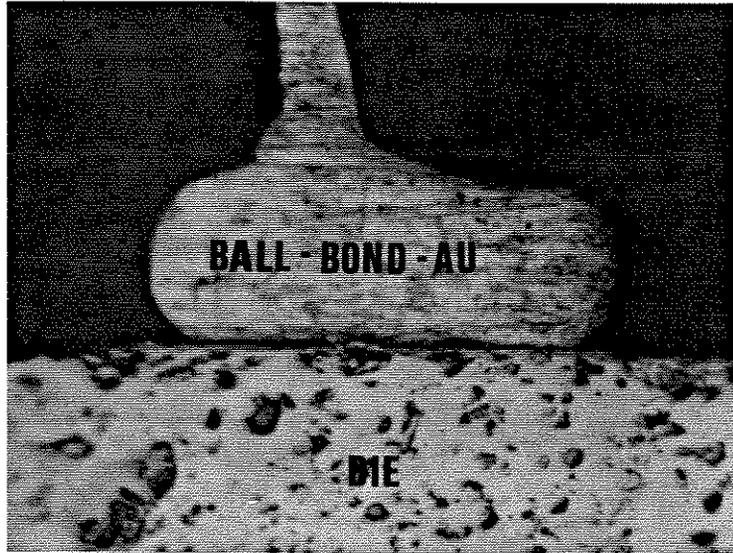


Fig. 4.19) Secção em corte da bola de ouro  
Foto obtida Via microscópio óptico

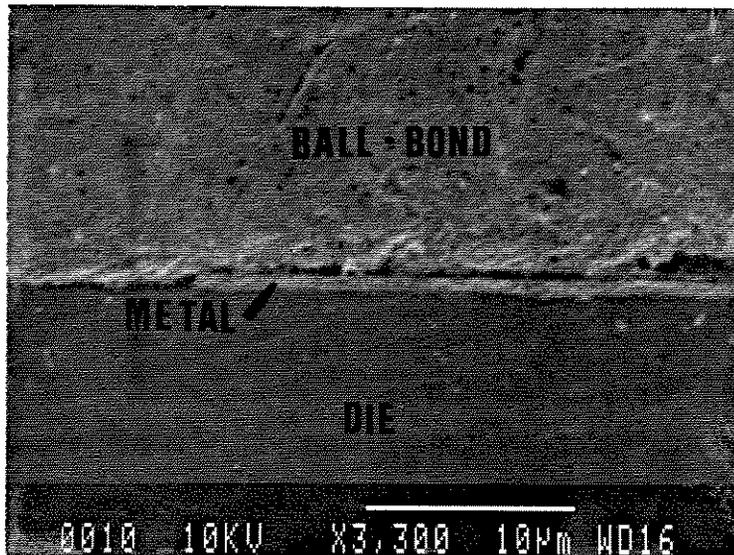


Fig. 4.20) Detalhes da interface da bola de ouro  
Foto obtida Via microscópio eletrônico (SEM)

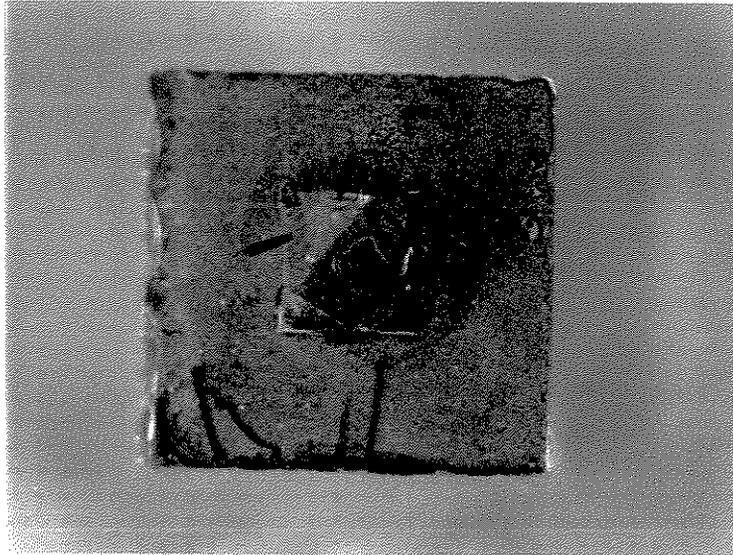


Fig 4.21) Análise de falha de um LED  
Foto obtida Via microscópio óptico

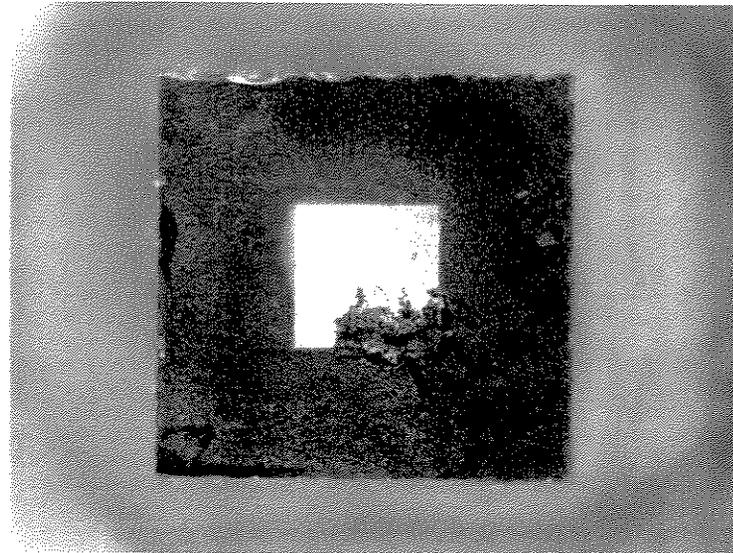


Fig. 4.22) Análise de falha de um LED  
Foto obtida Via microscópio óptico

#### 4.7) RESULTADO DA AUDITORIA NO SISTEMA DE QUALIDADE

A auditoria no sistema de qualidade do fornecedor foi executada conforme as normas ABNT NB9000 e corporate standard [15,16]. Com base nestas normas a auditoria cobriu todas as perguntas do "check-list" denominado "questionário base para auditorias em sistemas de qualidade" [17].

Os pontos fortes encontrados foram:

Na avaliação do item "liderança da alta administração" (NB9000/4.1), pudemos constatar a existência de um plano lúcido e muito bem estruturado para o "Programa de Qualidade Total" (PQT) do fornecedor. Evitando a inconsistência de slogans e campanhas promocionais/exortativas, o PQT visa o envolvimento dos gerentes e funcionários na implementação de projetos concretos de melhoria. Com enfoque no conceito de cliente externo/interno, indicadores de qualidade foram definidos, juntamente com os respectivos responsáveis, para todas as funções do fornecedor, sejam técnicas ou administrativas.

Outro ponto positivo a ser ressaltado foi a postura de franqueza e transparência por parte do fornecedor, aceitando a auditoria como instrumento de revisão e indicação de pontos de melhoria de seu próprio sistema de qualidade. Esta atitude foi marcante, desde a alta gerência a todos os demais gerentes e funcionários do fornecedor que participaram da auditoria.

#### OPORTUNIDADES DE MELHORIA

Os comentários a seguir correspondem às perguntas da referência [17] para as quais foram coletadas evidências de não atendimento aos requisitos.

#### Liderança da alta administração

#### REFERÊNCIA:

CS216/6.3 - Planejamento estratégico da qualidade

#### PERGUNTAS:

Os planos de implementação de melhorias da qualidade e

satisfação do cliente refletem objetivos a curto prazo (um ou dois anos) e a médio prazo (três a cinco anos)?

Os planos levam em conta os dados de desempenho dos melhores competidores ("benchmarking"), de modo a atingir/manter a liderança em qualidade e satisfação do cliente?

COMENTÁRIOS:

Os objetivos não foram previamente estabelecidos; aguarda-se a obtenção de dados de desempenho dos indicadores de qualidade definidos no PQT para daí derivar as metas.

Realizam análise dos competidores, mas não usam os dados para "benchmarking".

Particularidades da C-S 0-0216-000

REFERÊNCIA:

CS216/6.7 - satisfação do cliente

PERGUNTAS:

Existem procedimentos para acompanhamento periódico do nível de satisfação dos clientes?

COMENTÁRIOS:

Não há procedimentos (conforme informação do depto CTEC)

Controle de documentos

REFERÊNCIA:

NB90001/4.5.2 - NB9002/4.4.2 - alterações

PERGUNTAS:

As alterações em documentos são revisadas e aprovadas pelas mesmas funções que emitiram e aprovaram os originais?

Existe um índice ou procedimento equivalente que identifique o nível de revisão vigente dos documentos, a fim de evitar o uso de documentos obsoletos?

COMENTÁRIOS:

Na operação de moldagem de LEDs, a operadora utilizava documento informal para a receita de mistura das resinas, por ser mais prático de consultar que a NT LC36 (07/88). Enquanto a norma mencionava a resina NT8031, esta era identificada no documento

informal como YN4.

A versão da NT LC36 disponível na operação de moldagem apresentava alteração sem assinatura do responsável em autorizar a mudança.

Os fluxogramas simplificados de processo, os quais também listam os possíveis defeitos em cada operação e estão à disposição dos operadores, não são controlados como documentos formais. Não possuem nível de revisão ou nome/assinatura do responsável.

Numa das estações de trabalho foi observada uma cópia da norma NTC2300 (08/07/87) sem assinaturas dos depts GQual e Prod7.

Não havia um índice geral dos documentos, mostrando o nível de revisão vigente.

#### Recebimento, estocagem e controle de matéria-prima

##### REFERÊNCIA:

NB9001/4.6.3 - NB9002/4.5.3 - Dados para compra

##### PERGUNTAS:

Os documentos de compra do fornecedor descrevem claramente o material pedido, especificando o tipo, modelo, etc. e citando as revisões atualizadas de desenhos, especificações e normas aplicáveis?

##### COMENTÁRIOS:

Os AEs (Avisos de Entrada) mencionam as NiFor (Normas de fornecimento do fornecedor), mas não seu nível de edição vigente. Os AEs mencionam os desenhos e a edição vigente, mas de maneira tal que esta pode ser confundida com a edição da NiFor (conforme verificado no fornecedor).

##### REFERÊNCIA:

NB9002/4.9.1 - Inspeção e ensaios

##### PERGUNTAS:

Existem procedimentos documentados para as inspeções e ensaios de recebimento, especificando quais características devem ser avaliadas e estabelecendo critérios de aceitação?

##### COMENTÁRIOS:

Na área de inspeção de recebimento observou-se que o cartão

de teste de matéria prima do terminal 3mm não mencionava a respectiva NiFor.

**REFERÊNCIA:**

NB9001/4.12 - NB9002/4.11 - Status da inspeção e ensaios

**PERGUNTAS:**

Existe identificação e/ou localização física inequívocas para os materiais no recebimento, no que diz respeito ao status da inspeção e ensaios?

**COMENTÁRIOS:**

Na área de estoque foram observados rolos de terminais antigos, sem identificação de aprovação ou rejeição.

**REFERÊNCIA:**

NB9001/4.11 - NB9002/4.10 - Equipamentos de inspeção, medição e ensaios.

**PERGUNTAS:**

Os procedimantos especificam os equipamentos apropriados para inspeção e ensaios?

Os equipamentos utilizados para inspeção e ensaios estão devidamente identificados quanto ao seu estado de aferição?

**COMENTÁRIOS:**

Para aceitação do terminal 3mm, a NiFor especifica o uso de projetor de perfil para certas cotas. Porém, é utilizado paquímetro, conforme especificado no cartão de testes.

Os paquímetros e micrômetros utilizados para inspeção não possuem etiqueta de aferição.

**REFERÊNCIA:**

NB9001/4.18 - NB9002/4.17 - Treinamento

**PERGUNTAS:**

O pessoal que executa atividades de inspeção e ensaios de recebimento está devidamente treinado?

Existem e são mantidos registros de tal treinamento?

**COMENTÁRIOS:**

Os registros de treinamento de duas funcionárias do lab. de recebimento de matéria prima não puderam ser prontamente

recuperados, evidenciando uma provável inadequação do sistema de arquivamento e controle dos registros.

#### Controle do processo de fabricação

##### REFERÊNCIAS:

NB9001/4.11 - NB9002/4.10 - Equipamentos de inspeção, medição e ensaios

##### PERGUNTAS:

Os procedimentos especificam os equipamentos apropriados para inspeção e ensaios?

Os equipamentos utilizados para inspeção e ensaios estão devidamente identificados quanto ao seu estado de aferição?

##### COMENTÁRIOS:

As normas não especificam o equipamento VIM-200 para teste dos LEDs, embora este seja o único equipamento disponível para teste elétrico.

O VIM-200 na área de teste do produto acabado apresentava etiqueta com aferição vencida, embora no registro de aferição mensal constasse que havia sido feita uma aferição a menos de um mês.

##### REFERÊNCIAS:

NB9001/4.14 - NB9002/4.13 - Ação corretiva

##### PERGUNTAS:

Existem procedimentos documentados para a investigação das causas de produto não-conforme e estabelecimento das ações corretivas e preventivas necessárias?

##### COMENTÁRIOS:

Não existe procedimento documentado para ações corretivas sobre produto não-conforme.

##### REFERÊNCIAS:

NB9001/4.19 - NB9002/4.18 - CEP

##### PERGUNTAS:

Os limites de controle são recalculados na frequência adequada?

São utilizados critérios de seqüências não-aleatórias para identificação de situações fora de controle?

As cartas de controle estão preenchidas corretamente?

O pessoal diretamente envolvido com os gráficos de CEP está adequadamente treinado?

Quem confecciona as cartas é o pessoal da produção?

#### COMENTÁRIOS:

Os limites de controle da operação de moldagem de LEDs não haviam sido recalculados para o mês de Abril.

Não são utilizadas seqüências; somente o critério de ponto fora dos limites de controle.

O revisor volante marcava pontos nas cartas de controle das máquinas de contactação números 1, 2 e 3, as quais porém não tinham limites de controle traçados.

A julgar pelo preenchimento do gráfico sem limites de controle, o treinamento de CEP parece não ter coberto adequadamente os aspectos conceituais talvez atendendo-se somente a aspectos operacionais.

As cartas são feitas pelo revisor volante, e não pelo operador.

#### Monitoração da confiabilidade

#### REFERÊNCIAS:

NB9001/4.11- NB9002/4.10 - Equipamentos de inspeção, medição e ensaios.

#### PERGUNTAS:

Os equipamentos utilizados estão devidamente identificados quanto ao seu estado de aferição?

#### COMENTÁRIOS:

O termômetro digital utilizado para aferir as câmaras e estufas do laboratório de confiabilidade não possuía etiqueta de aferição.

#### REFERÊNCIAS:

NB9001/4.18 - NB9002/4.17 - Treinamento

#### PERGUNTAS:

O pessoal que executa os ensaios está devidamente treinado?  
Existem e são mantidos registros de tal treinamento?

COMENTÁRIOS:

Não são mantidos registros de treinamento do pessoal do laboratório de confiabilidade.

REFERÊNCIAS:

NB9001/4.14 - NB9002/4.13 - Ação corretiva

PERGUNTAS:

Existem procedimentos documentados para a investigação das causas de falhas e estabelecimento das ações corretivas e preventivas necessárias?

Existem e são mantidos registros de ações corretivas?

COMENTÁRIOS:

Não existe procedimento documentado para ações corretivas/preventivas, embora sejam emitidos SACs (Solicitação de Ação Corretiva).

No SAC emitido em 27/07/90, o campo "descrição das causas e ações corretivas" só foi preenchido em 11/04/91, evidenciando um atraso muito grande em responder ao SAC.

#### Auditorias internas de qualidade

REFERÊNCIAS:

NB9001/4.17 - NB9002/4.16

PERGUNTAS:

Existem procedimentos documentados estabelecendo um plano de auditorias internas para verificar a eficácia do sistema de qualidade?

COMENTÁRIOS:

São feitas auditorias de processo, mas não dos demais elementos do sistema de qualidade da empresa.

#### Aferição/calibração dos equipamentos

REFERÊNCIAS:

CS216/6.4 - NB9001/4.11 - NB9002/4.10 - Equipamentos de  
medição, inspeção e ensaios.

**PERGUNTAS:**

São utilizados equipamentos apropriados, considerando-se as incertezas das medições versus a tolerância especificada?

Os equipamentos sujeitos a aferição periódica são devidamente identificados, de modo a mostrar a situação/validade da aferição?

Para a aferição são utilizados equipamentos ou padrões certificados, que tenham rastreabilidade válida a padrões reconhecidos nacionalmente? Caso tais padrões não existem, é documentada a base utilizada para aferição?

**COMENTÁRIOS:**

Uma das cotas da cavidade plástica de 5 mm tinha tolerância especificada de  $\pm 0,05$  mm, enquanto o paquímetro utilizado possuía incerteza de 0,03 mm, muito grande com relação à tolerância exigida (a máxima incerteza recomendada neste caso seria de 0,01 mm, ou 0,02 mm no pior caso).

Em desacordo com a norma GQ002, as etiquetas de aferição atualmente utilizadas não mostram a data de expiração da validade da aferição dos equipamentos, mas somente a da última aferição.

Não há procedimento/controle documentado para os padrões de transferência de intensidade luminosa, vindos do exterior.

**CONCLUSÕES:**

A auditoria cobriu todos os aspectos requisitados pela norma IBM CS-216 e pelas NB9001/9002. De um total de 98 requisitos de qualidade, coletamos evidências de adequação a 75. O fornecedor demonstrou ter potencial para aumentar seu grau de atendimento aos requisitos, através da implementação do plano já delineado para o Programa de Qualidade Total, juntamente com as ações específicas sobre os problemas mencionados neste relatório.

Com relação aos objetivos do atual processo de qualificação dos LEDs, o nível de desempenho do sistema de qualidade do fornecedor, conforme avaliado nesta auditoria, pode ser considerado satisfatório, não impedindo a continuidade da mesma.

## SUGESTÕES:

Exclusivamente a título de provável contribuição, as seguintes sugestões são feitas, as quais poderiam vir a ser consideradas pelo fornecedor:

a) Corrigir as falhas de atualização e de edição no manual de qualidade. Este tipo de falha é uma preocupação quando o responsável pelo manual é a pessoa que trata de qualidade.

b) Modificações nos gráficos de controle estatístico de processo para melhorar a capacidade do processo.

c) Mudar os indicadores de qualidade durante a inspeção final de CQ.

### 4.8) RESULTADOS DOS TESTES REALIZADOS

A tabela 4.1 mostra todos os resultados dos testes executados para a qualificação da família de LED's do fornecedor. Os testes executados são os dos grupos A, B e C, já descritos no cap. 2. Os testes de confiabilidade (HTB, T&H e T/C) foram executados nas condições definidas no item 4.11.

Tabela 4.1) Tabela com resultados dos testes de qualificação dos LED's

Descrição dos testes	amostras	falhas
Robustez dos term. (torção)	20	0
Robustez dos term. (tração)	20	0
Soldabilidade	20	0
Choque térmico	20	0
Flamabilidade	20	0
Adesão da cobertura dos term.	20	0
Contaminação iônica	100	0
Falhas prematuras	463	4
HTB	315	0
T&H	219	1
T/C	214	0

#### 4.9) DEGRADAÇÃO DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS (Durante os testes HTB, T&H e T/C)

Foram medidos os parâmetros elétricos de  $V_f$  (queda de tensão para uma corrente de 20mA) e de  $I_r$  (corrente de fuga para uma tensão de 3,0V reverso). As medidas foram feitas durante as leituras intermediárias dos testes de confiabilidade, cujas condições estão descritas no item 4.11. Não foram observadas variações nas medidas de  $V_f$  com relação às semanas de fabricação e nem em relação ao tempo de teste, ou seja, não houve degradação no parâmetro  $V_f$ . Em relação à corrente de fuga foram observadas algumas variações, mas isto se deve à variação que a mesma sofre quando há uma variação na luminosidade da luz ambiente, uma vez que o encapsulamento do LED é transparente à luz ambiente gerando pares elétron-lacunas. Os gráficos a seguir (figuras 4.14 até 4.19) foram obtidos utilizando-se um pacote estatístico chamado GRAFSTAT de propriedade da IBM Corp. Os resultados são referentes ao LED do TIPO I. Foram plotados os parâmetros estatísticos em função das leituras intermediárias em 0, 168, 500 e 1000 horas de teste, este gráfico é chamado de "box plot".

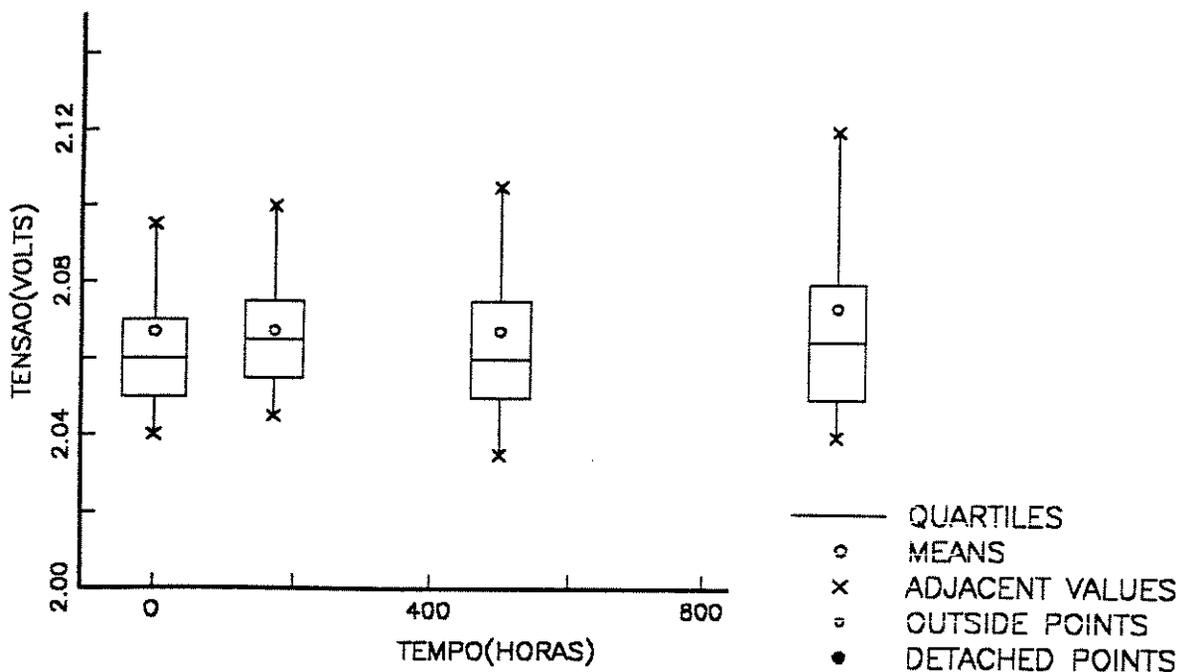
O box plot consiste de símbolos mostrando a média, mediana e outros parâmetros estatísticos. O box plot tem símbolos ou linhas das média, quartis, valores adjacentes, pontos exteriores e pontos separados.

O box plot é uma porção que se estende do quartil inferior até o quartil superior (o quartil inferior divide as amostras onde um quarto das amostras estão abaixo e três quartos estão acima deste valor. O quartil superior é análogo). A linha central do box representa a mediana.

Estão representados ainda os pontos fora do box plot. Os valores adjacentes são os maiores e os menores pontos que estão a distância não superior a  $1,5Q$  ( $Q$  é a distância interquartil) dos respectivos quartis. Pontos exteriores são aqueles que estão a uma distância entre  $1,5Q$  a  $3Q$  dos respectivos quartis. Pontos separados são aqueles que estão a distâncias superiores a  $3Q$  dos respectivos quartis. A fig. 4.14 mostra os detalhes dos pontos aqui descritos.

Concluimos que os testes de confiabilidade (HTB, T&H e T/C) não causaram degradação nos parâmetros elétricos do LED. Isto significa que o processo de encapsulamento e os testes de confiabilidade não afetaram a pastilha e nem seus parâmetros elétricos.

GRAFICO DE VR APOS TESTE DE HTB



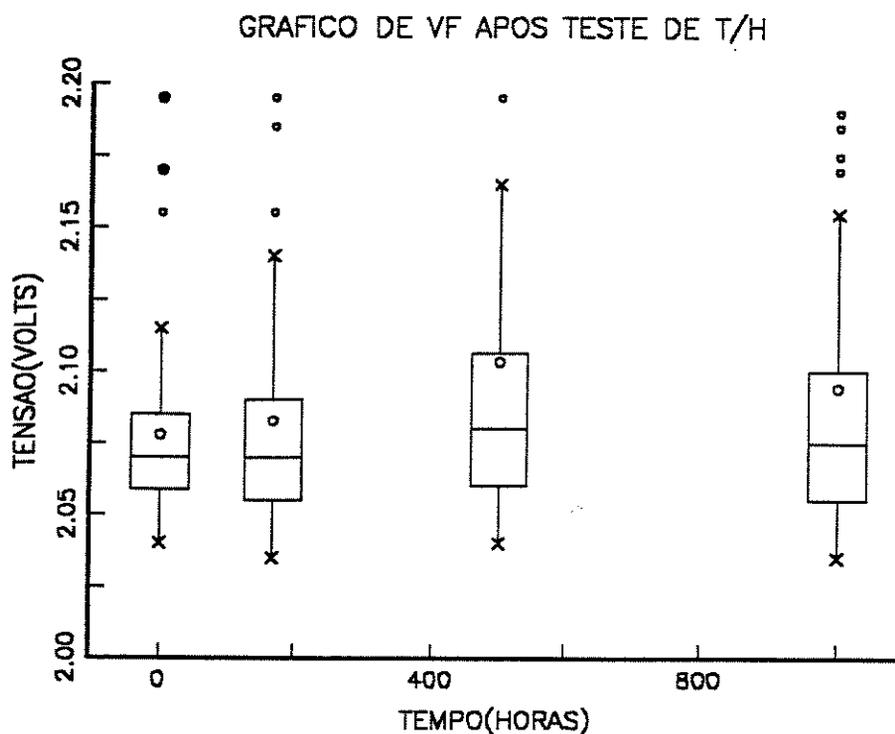
EMPIRICAL COMPARISON OF MARGINAL DISTRIBUTIONS

PARAMETER VALUES: 0 168 500 1000  
 POPULATIONS : HT18VR000;HT18VR168;HT18VR500;HT18VR999  
 WEIGHTS : 0  
 X LABEL : TEMPO(HORAS)  
 Y LABEL : TENSAO(VOLTS)

POPULATION	NO. OF NUMBER	POINTS	Y MEAN	Y STD DEV	---PERCENTILES---		
					0.25	0.5	0.75
0	81		2.0669	0.044493	2.05	2.06	2.07
168	81		2.0673	0.018893	2.055	2.065	2.075
500	81		2.0672	0.045387	2.05	2.06	2.075
1000	81		2.0738	0.04733	2.05	2.065	2.08

POOLED STANDARD DEVIATION ESTIMATE: 0.040733

Fig 4.14) Gráfico (box plot) de Vf após teste de HTB  
LED TIPO I



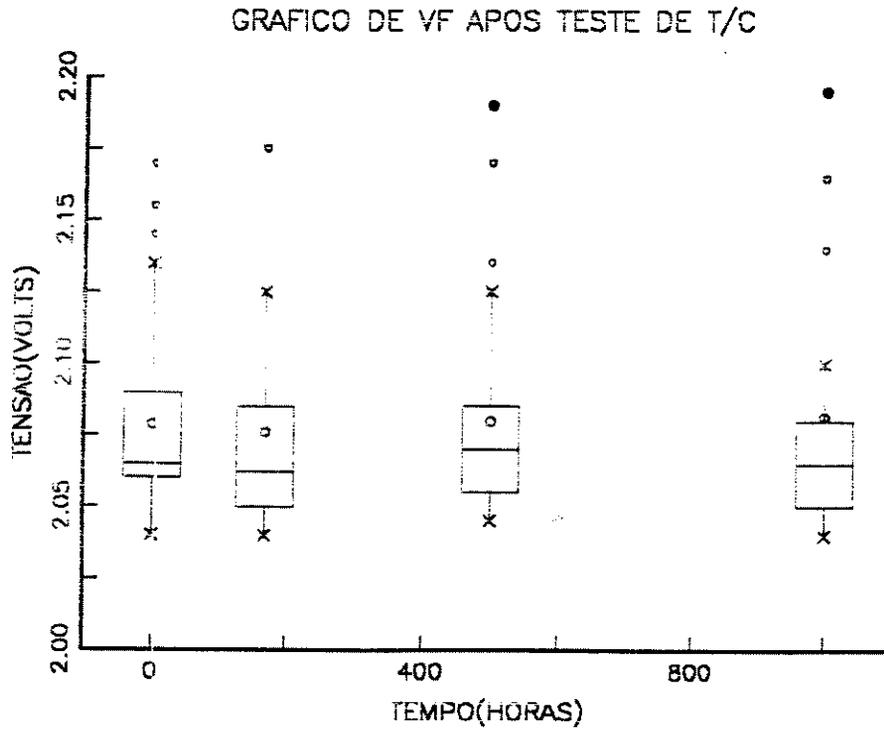
EMPIRICAL COMPARISON OF MARGINAL DISTRIBUTIONS

PARAMETER VALUES: 0 168 500 1000  
 POPULATIONS : TH18VR000; TH18VR168; TH18VR500; TH18VR999  
 WEIGHTS : 0  
 X LABEL : TEMPO(HORAS)  
 Y LABEL : TENSÃO(VOLTS)

POPULATION	NO. OF	Y MEAN	Y STD DEV	---PERCENTILES---		
NUMBER	POINTS			0.25	0.5	0.75
0	57	2.0777	0.034809	2.06	2.07	2.085
168	57	2.0826	0.044402	2.055	2.07	2.09
500	57	2.1032	0.071173	2.06	2.08	2.105
1000	57	2.0942	0.05756	2.055	2.075	2.1

POOLED STANDARD DEVIATION ESTIMATE: 0.053763

Fig. 4.15) Gráfico (box plot) de Vf após teste de T&H  
 LED TIPO I



EMPIRICAL COMPARISON OF MARGINAL DISTRIBUTIONS

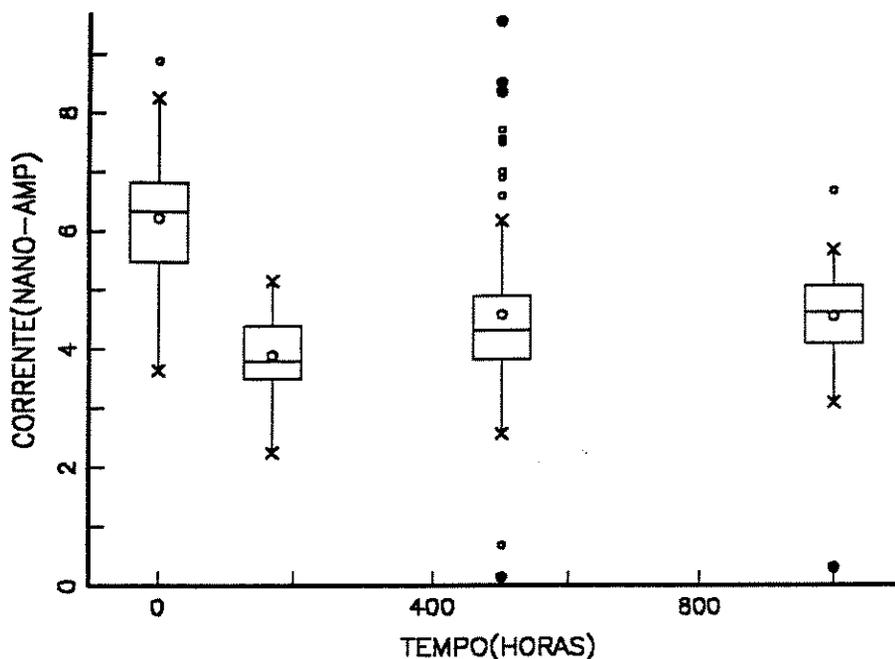
PARAMETER VALUES: 0 168 500 1000  
 POPULATIONS : CT18VR000;CT18VR168 CT18VR500;CT18VR999  
 WEIGHTS : 0  
 X LABEL : TEMPO(HORAS)  
 Y LABEL : TENSÃO(VOLTS)  
 POPULATION NO. OF

NUMBER	POINTS	Y MEAN	Y STD DEV	---PERCENTILES---		
0	54	2.0789	0.036182	0.25	0.5	0.75
168	54	2.0762	0.040199	2.06	2.065	2.09
500	54	2.0796	0.037339	2.055	2.07	2.085
1000	54	2.0815	0.060444	2.05	2.065	2.08

POOLED STANDARD DEVIATION ESTIMATE: 0.044645

Fig. 4.16) Gráfico (box plot) de Vf após teste de T/C  
 LED TIPO I

GRAFICO DE IR APOS TESTE DE HTB



EMPIRICAL COMPARISON OF MARGINAL DISTRIBUTIONS

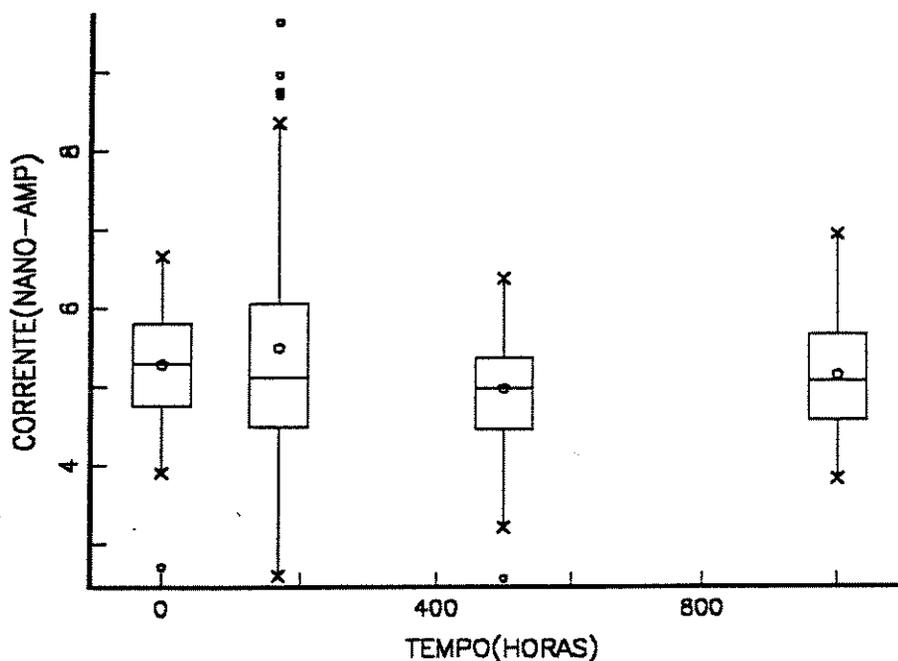
PARAMETER VALUES: 0 168 500 1000  
 POPULATIONS : HT18IR000;HT18IR168;HT18IR500;HT18IR999  
 WEIGHTS : 0  
 X LABEL : TEMPO(HORAS)  
 Y LABEL : CORRENTE(NANO-AMP)  
 POPULATION NO. OF  

NUMBER	POINTS	Y MEAN	Y STD DEV	-PERCENTILES--		
0	81	6.2259	1.0402	0.25	0.5	0.75
168	81	3.8932	0.62699	3.51	3.8	4.39
500	81	4.5672	1.5205	3.82	4.3	4.87
1000	81	4.5449	0.80059	4.09	4.61	5.04

POOLED STANDARD DEVIATION ESTIMATE: 1.0521

Fig 4.17) Gráfico (box plot) de Ir após teste de HTB  
 LED TIPO I

GRAFICO DE IR APOS TESTE DE T/H



EMPIRICAL COMPARISON OF MARGINAL DISTRIBUTIONS

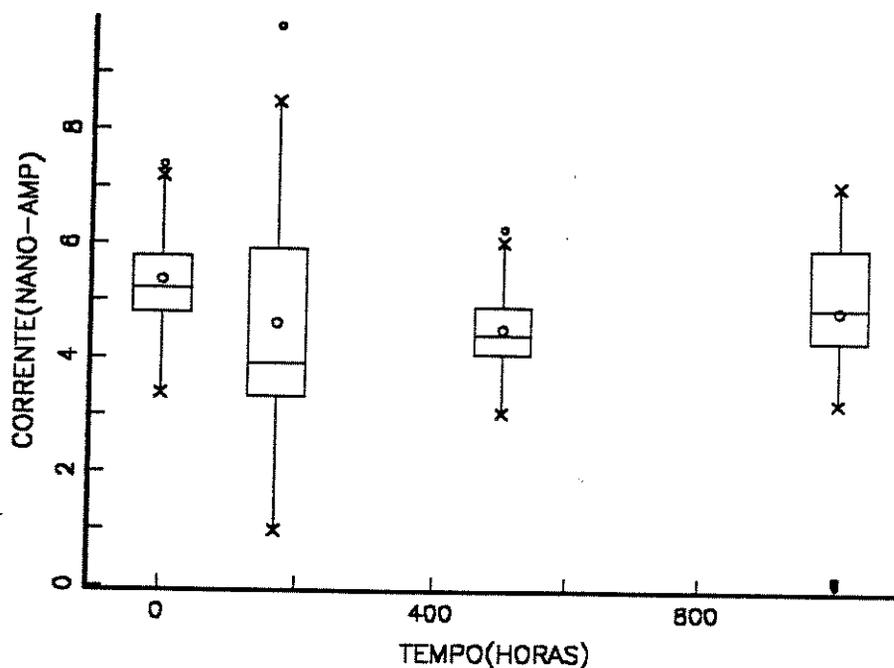
PARAMETER VALUES: 0 168 500 1000  
 POPULATIONS : TH18IR000;TH18IR168;TH18IR500;TH18IR999  
 WEIGHTS : 0  
 X LABEL : TEMPO(HORAS)  
 Y LABEL : CORRENTE(NANO-AMP)

POPULATION	NO. OF	--PERCENTILES--				
NUMBER	POINTS	Y MEAN	Y STD DEV	0.25	0.5	0.75
0	57	5.2781	0.77336	4.76	5.29	5.79
168	57	5.4916	1.4722	4.49	5.12	6.05
500	57	4.9611	0.75374	4.45	4.97	5.34
1000	57	5.1326	0.73748	4.57	5.06	5.64

POOLED STANDARD DEVIATION ESTIMATE: 0.98457

Fig 4.18) Gráfico (box plot) de Ir após teste de T&H  
 LED TIPO I

GRAFICO DE IR APOS TESTE DE T/C



EMPIRICAL COMPARISON OF MARGINAL DISTRIBUTIONS

PARAMETER VALUES: 0 168 500 1000  
 POPULATIONS : CT18IR000;CT18IR168;CT18IR500;CT18IR999  
 WEIGHTS : 0  
 X LABEL : TEMPO(HORAS)  
 Y LABEL : CORRENTE(NANO-AMP)

POPULATION	NO. OF	--PERCENTILES--				
NUMBER	POINTS	Y MEAN	Y STD DEV	0.25	0.5	0.75
0	54	5.3626	0.89619	4.8	5.2	5.77
168	54	4.6141	1.8561	3.34	3.89	5.91
500	54	4.495	0.77327	4.06	4.38	4.89
1000	54	4.8519	1.4743	4.32	4.84	5.94

POOLED STANDARD DEVIATION ESTIMATE: 1.3247

Fig. 4.19) Gráfico (box plot) de Ir após teste de T/C  
LED TIPO I

#### 4.10) DEGRADACÃO LUMINOSA APOS TESTE DE HTB

##### 4.10.1) INTRODUÇÃO

Este item apresenta dados de medidas da intensidade integrada de emissão de luz e espectros típicos de eletroluminescência (EL) de LEDs submetidos aos testes de HTB nos laboratórios da IBM. Estas medidas foram executadas pelo laboratório de espectroscopia II / GPO / IFGW / UNICAMP sob supervisão do Prof. Dr. Paulo Motisuke. A partir da posição dos picos dos espectros de EL são feitas as identificações dos tipos de LEDs. A invariância das posições dos picos e das larguras dos espectros de EL indica que os processos de degradação dos LEDs apresentados são devido ao aumento na taxa de recombinação não radiativa dos portadores de carga injetados no dispositivo. Finalmente, é feita uma análise comparativa entre os dados de degradação dos LEDs apresentados com as especificações dos LEDs equivalentes, dados pelo fornecedor.

##### 4.10.2) DESCRICÃO DAS AMOSTRAS E DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL UTILIZADO

Oitenta amostras de LEDs foram fornecidos em quatro conjuntos de vinte peças cada, sob os códigos TIPO I, TIPO II, TIPO III e TIPO IV. Para estes estudos, os processos de degradação de LEDs foram acelerados através de tratamentos térmicos numa estufa a 80°C e corrente de polarização de 20mA (HTB), durante um tempo máximo de 1000 horas. Foram feitos dois tipos de medidas: i) intensidade integrada da luz emitida e ii) a sua distribuição espectral nos instantes 0, 168, 500 e 1000 horas de teste HTB.

As medidas de intensidade integrada da luz emitida foi feita colocando cada LED a uma posição fixa em relação ao fotodetector de resposta espectral plana, mantendo constante o ângulo sólido de coleção da luz. As medidas de distribuição espectral da radiação de eletroluminescência foram obtidas com um espectrômetro de distância focal de 50cm e dispersão de 16Å/mm. A radiação na saída do espectrômetro foi detetada com uma fotomultiplicadora de fotocatodo tipo S-1, refrigerado com Nitrogênio líquido. O sinal

da fotomultiplicadora foi amplificado e armazenado na memória de um microcomputador tipo PC, dedicado ao experimento, através de uma placa A/D. Este mesmo microcomputador controla a varredura do espectrômetro e, no final do processo de aquisição de dados de cada espectro, grava os dados num disco para análise posterior. Todas as medidas foram feitas com os LEDs a temperatura ambiente e polarizados a 20mA.

#### 4.10.3) RESULTADOS E DISCUSSÕES

As figuras de 4.20 a 4.23 mostram os espectros típicos de eletroluminescência de um LED do TIPO I após 0, 168, 500 e 1000 horas de teste HTB, respectivamente. As posições dos picos destes espectros estão dentro da faixa de  $(634,9 \pm 1,7)$ nm. Pela posição espectral dos máximos dos espectros, podemos identificar que este dispositivo TIPO I é equivalente ao "Superrode LED, 635nm" [13] do fornecedor com estrutura de camadas  $\text{GaAsP}_{1-x}$  com  $x=0,35$ , crescida por VPE (Vapor Phase Epitaxy) sobre substratos de GaP. Na Figura 4.24 apresentamos a curva de degradação da emissão integrada do dispositivo "superrode LED, 635nm", juntamente com os dados experimentais do LED TIPO I obtidos neste trabalho, onde cada ponto representa a média das medidas em 20 dispositivos e com os seus desvios padrões. Um tratamento estatístico destes dados está apresentado na figura 4.25. Apesar dos testes HTB do LED TIPO I terem sido feitos a  $80^{\circ}\text{C}$  com 20mA de corrente, o que é mais severo do que as condições apresentadas nas folhas de especificações do fornecedor ( $T < 40^{\circ}\text{C}$  e correntes de 5, 10 e 20mA), podemos observar que os resultados apresentados indicam degradação menor (menos de 15%) para tempos de até 500 horas, apesar de que para tempos maiores esta degradação torna-se mais acentuada, chegando a 30% em 1000 horas.

A inexistência de variações, tanto na posição do pico como na largura do espectro de EL, é uma indicação de que não houve interdifusão de As e P e, portanto, não houve mudança na composição do material na região ativa do dispositivo. A degradação na intensidade integrada da luz emitida pode ser entendida, como sendo devido a um aumento nos processos de

recombinação não radiativa dos portadores de carga, injetados no dispositivo. Estes processos ocorrem com bastante frequência na região do material com alta densidade de defeitos, devido a formação de DLD (Dark Line Defects) estimulada pela alta temperatura e alta densidade de corrente de injeção [9,14].

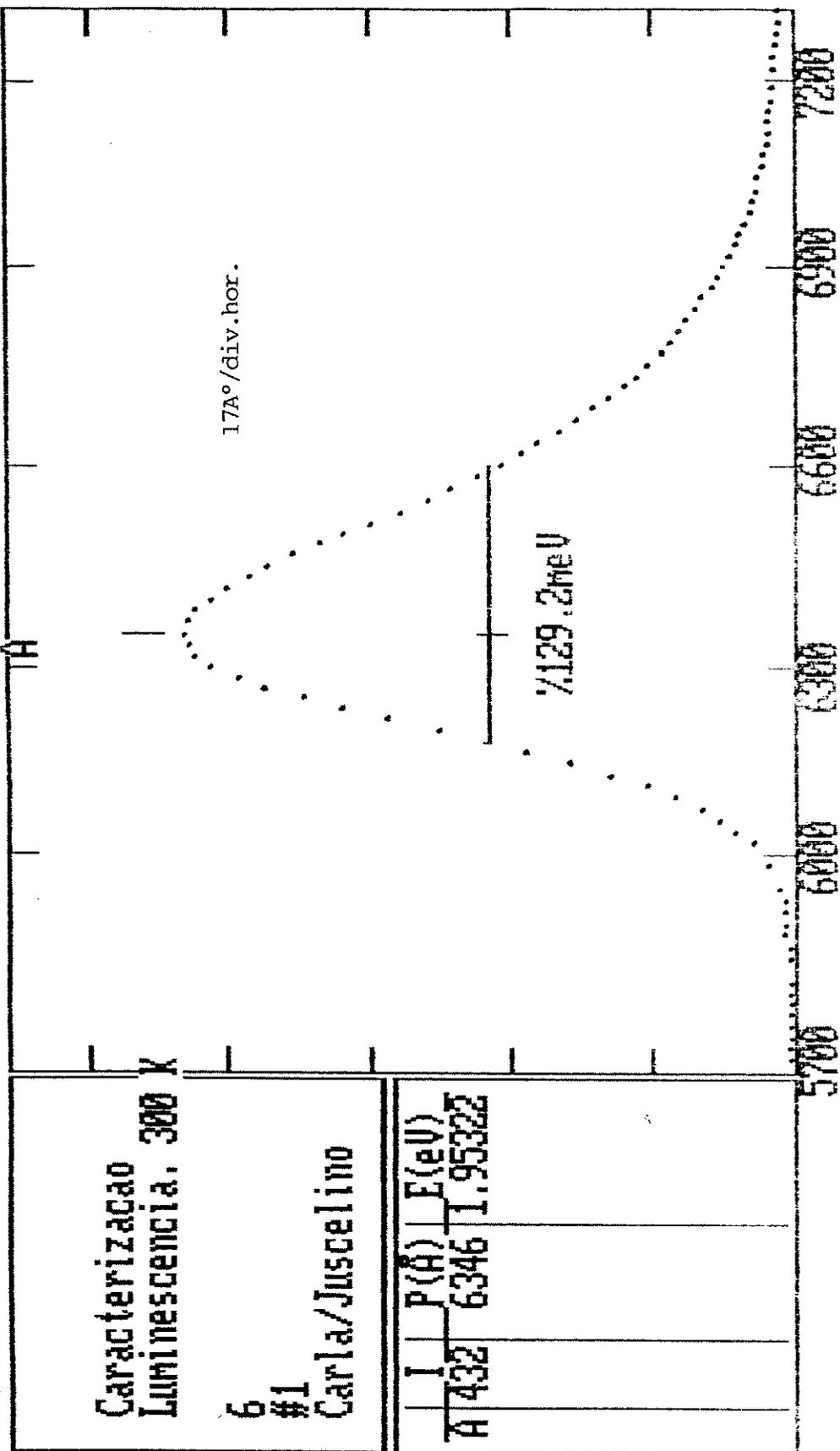
Para os outros tipos de LEDs utilizados neste trabalho, encontramos resultados semelhantes, e por este motivo não apresentaremos os resultados.

A tabela 4.2 a seguir mostra os resultados de degradação luminosa para os quatro tipos de LEDs analisados no laboratório da UNICAMP e dados pelo fornecedor. Podemos notar que a degradação não foi maior que 30% que é o valor máximo exigido pelas especificações de engenharia.

Notamos que a degradação não ultrapassou o máximo especificado e portanto está de acordo com o que esperávamos do LED. Alguma variação foi observada entre as medidas executadas na UNICAMP e os dados do fornecedor, isto pode ser explicado porque usamos equipamento diferente e somando-se a isto há uma variação normal na precisão das medidas.

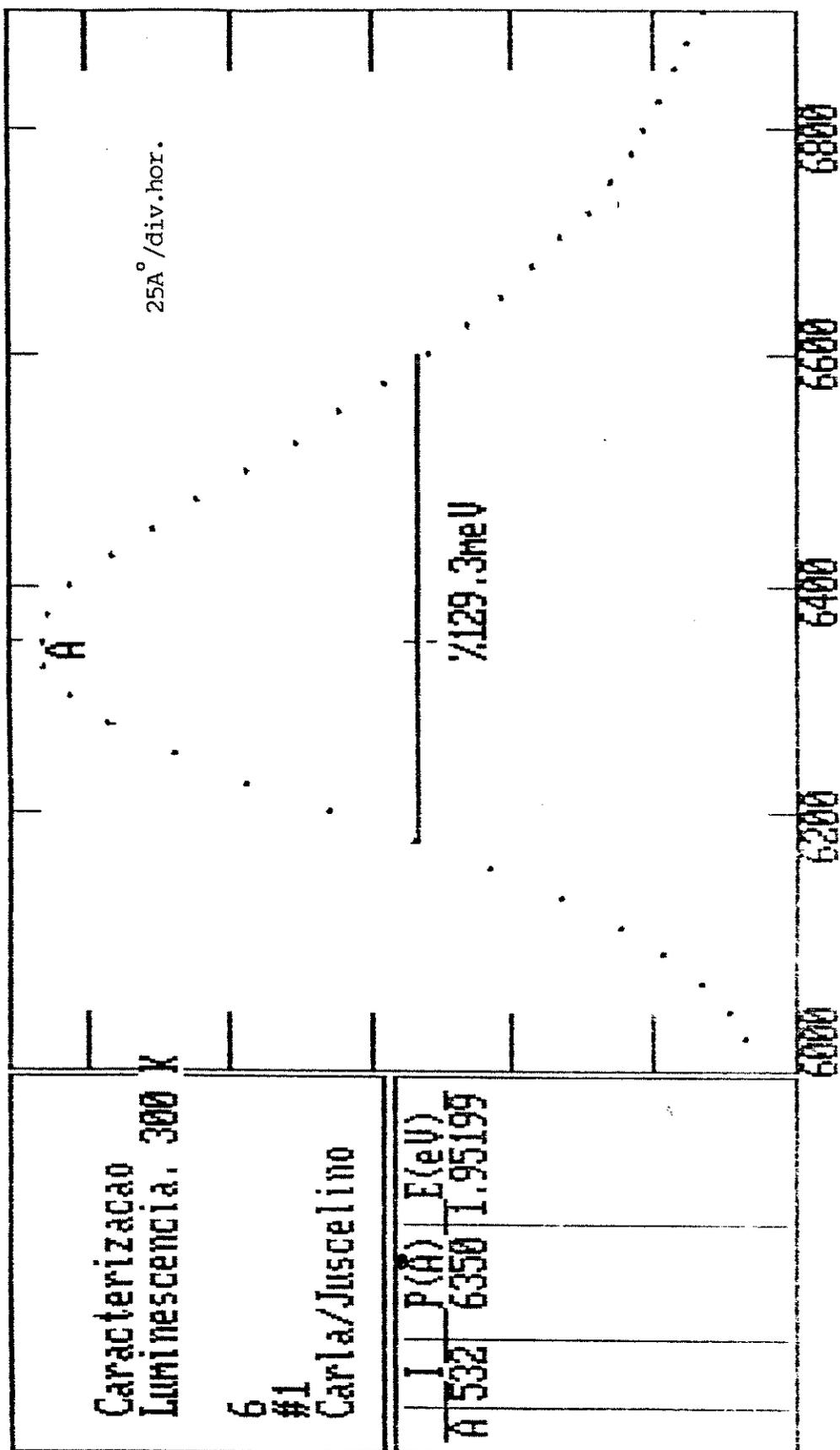
Tabela 4.2) Tabela comparativa de degradação luminosa após 1000 horas do teste HTB

<u>LED TIPO</u>	<u>medidas na UNICAMP</u>	<u>dados do FORNECEDOR</u>
I	30%	16%
II	27%	30%
III	21%	20%
IV	28%	32%



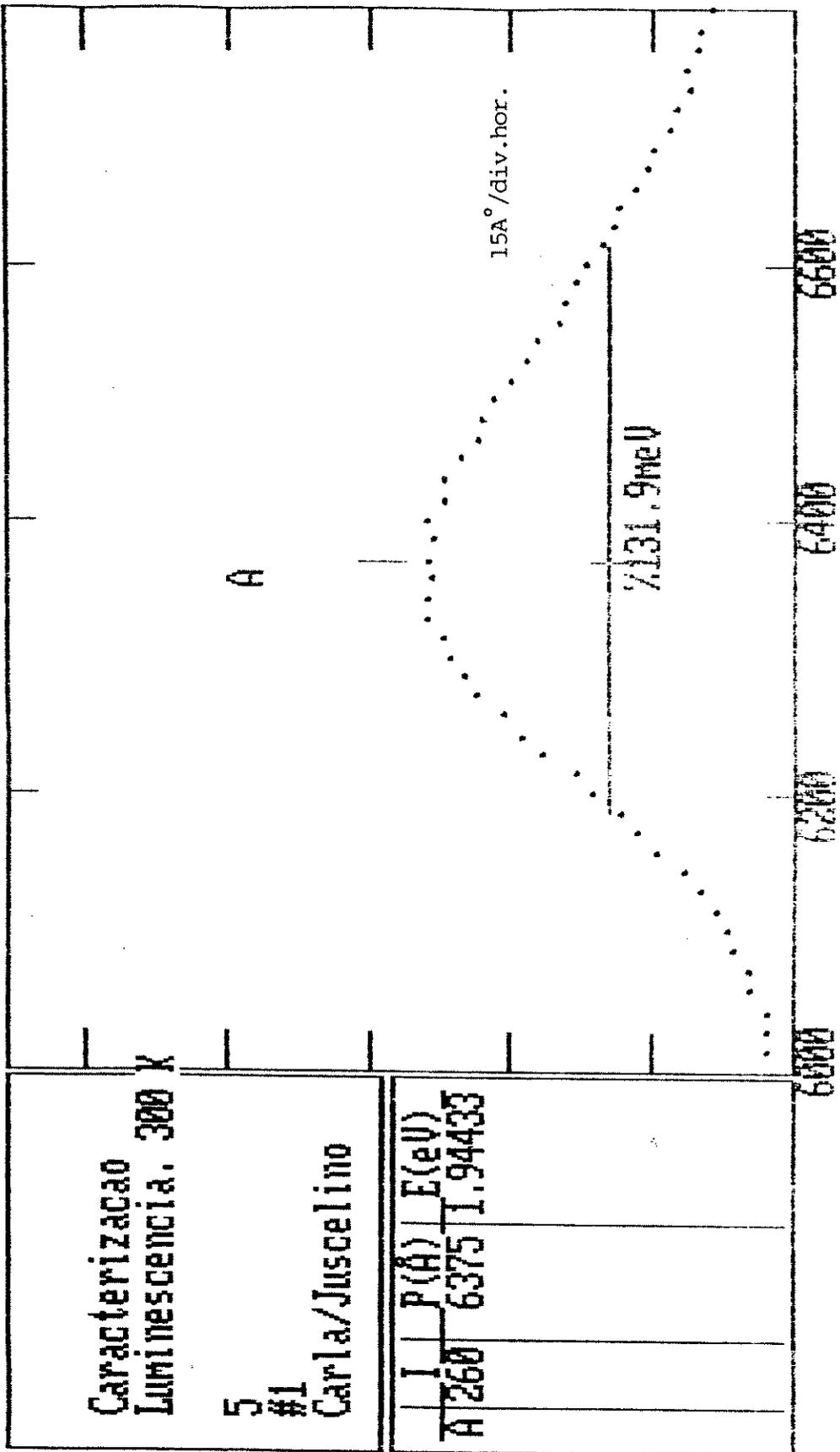
excitacao: 20 mA potencia: .005 filtros: 0  
 detector: 150 CUP (1200V) eletrometro: 30 x 10^-9 amp  
 espectrometro: 600 l/mm fenda: 80x80 um arquivo: F0418N06.DAT

Fig. 4.20) Espectro de EL do LED TIPO I após 0 hora de teste HTB



excitacao: 20 mA potencia: 105 mW filtros: 168 hs  
 detector: 150 CUP (1200V) eletrometro: 30 x 10\*\* -9 amp  
 espectrometro: 600 l/mm fenda: 80x80 um arquivo: A:2ULRN6.DAT

Fig. 4.21) Espectro de EL do LED TIPO I após 168 horas de teste HTB



excitacao: 20 mA potencia: 0.18 mW filtros: 500 Ås  
 detector: 150 CUP (1200V) eletrometro: 3 x 10<sup>10</sup> A-9 amp  
 espectrometro: 600 l/mm fenda: 80 x 80 mm arquivo: R:\GOVERN6.DAT

Fig. 4.22) Espectro de EL do LED TIPO I após 500 horas de teste HTB

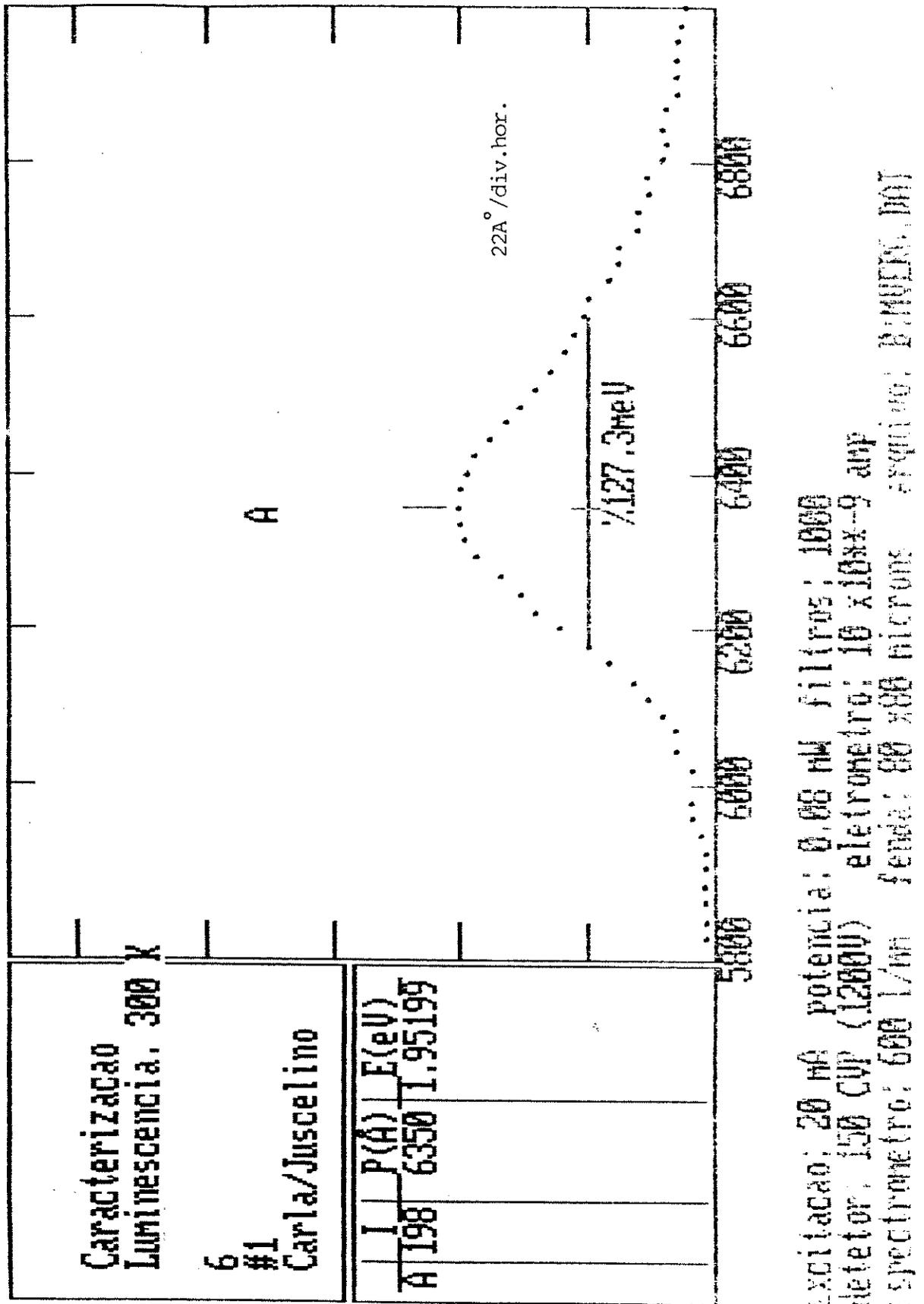


Fig. 4.23) Espectro de EL do LED TIPO I após 1000 horas de teste HTB

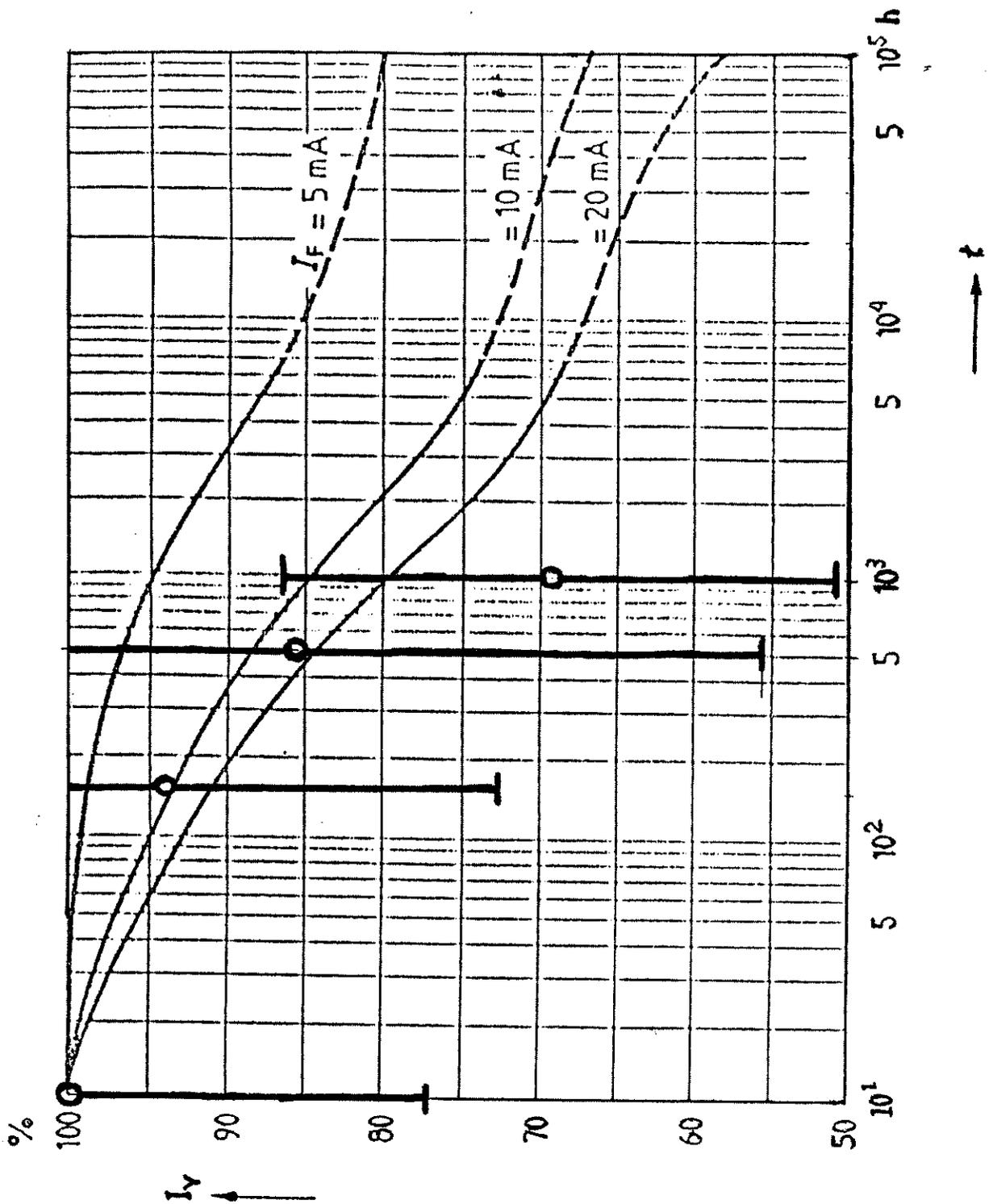
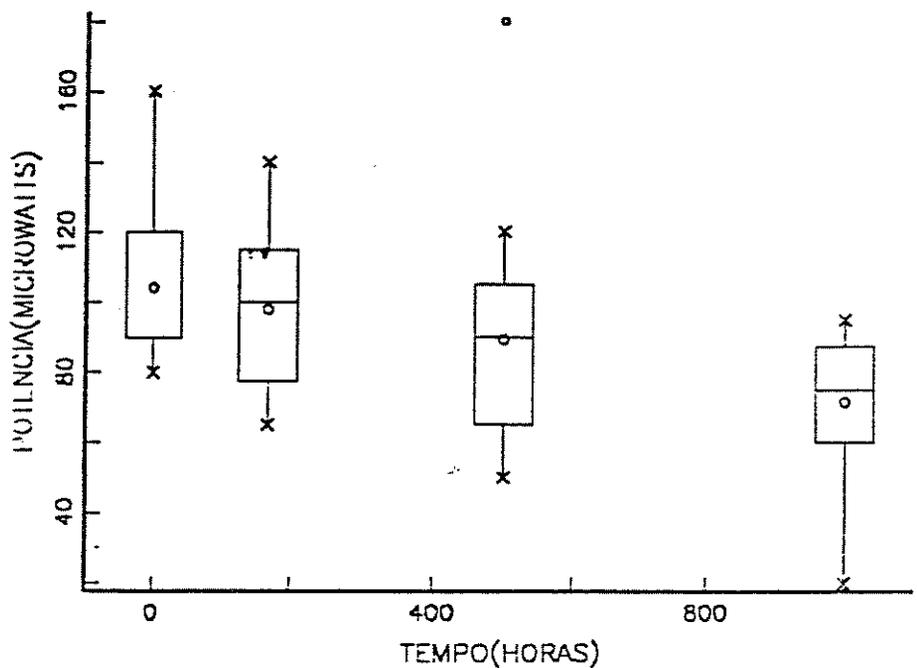


Fig. 4.24) Degradação do LED TIPO I submetido a teste HTB  
 i) curvas cheias: especificação do fornecedor  
 ii)  $\phi$  - obtidos neste trabalho

DEGRADACAO LUMINOSA APOS TESTE DE HTB



EMPIRICAL COMPARISON OF MARGINAL DISTRIBUTIONS

PARAMETER VALUES: 1 168 500 1000  
 POPULATIONS : DEG52000;DEG52168;DEG52500;DEG52999  
 WEIGHTS : 0  
 X LABEL : TEMPO(HORAS)  
 Y LABEL : POTENCIA (MICROWATTS)

POPULATION NO.	NO. OF POINTS	Y MEAN	Y STD DEV	-PERCENTILES-		
				0.25	0.5	0.75
1	20	104.25	23.635	90	90	120
168	20	98	22.088	75	100	115
500	20	89.25	30.534	65	90	100
1000	20	71.5	19.064	60	70	85

POOLED STANDARD DEVIATION ESTIMATE: 24.198

Fig. 4.25) Tratamento estatístico dos dados de degradação LED TIPO I

#### 4.11) CÁLCULO DA TAXA DE FALHA MÉDIA

Neste item faremos o cálculo da taxa de falha média utilizando-se os conceitos e equações do Cap. 3. Utilizando também as condições típicas do item 4.4.

##### 4.11.1) TESTE DE HTB

###### CONDIÇÕES DE ENSAIO DO COMPONENTE:

Temperatura ambiente	Tae=80°C
Queda de tensão no LED	Vf=+2,4V
Corrente de polarização	If=25mA
Potência dissipada (Pd=Vf*If)	Pd=60mW
Temperatura de junção (Tje=Tae+θja*Pd)	Tje=102,5°C
Tempo de teste	t=1000 hrs

Obs: Apesar de considerarmos que a dissipação de potência foi totalmente por efeito Joule (aquecimento da junção), há uma perda por radiação (luz). Mas esta perda é pequena em relação ao efeito Joule, podendo ser desconsiderada para efeito deste cálculo.

###### CÁLCULO DO FATOR DE ACELERAÇÃO (Af)

Para este cálculo utilizou-se a energia de ativação de Ea=0,96eV.

O valor de Af encontrado foi de: Af=68

###### CÁLCULO DA TAXA DE FALHA MÉDIA

A taxa de falha média foi calculada utilizando-se a equação 6 do Cap. 3. Os níveis de confiança utilizados foram 50, 60 e 90%.

Os valores encontrados estão sintetizados na tabela 4.4 no final deste item.

##### 4.11.2) TESTE DE T&H COM POLARIZAÇÃO REVERSA

###### CONDIÇÕES DE ENSAIO DO COMPONENTE

Temperatura ambiente	Tae=45°C
Umidade relativa	RHe=85%

Queda de tensão no LED	Vr=-3,0V
Corrente de polarização	Ir≅0
Potência dissipada	Pd≅0
Temperatura de junção	Tje=45°C
Tempo de teste	t=1000hrs

#### FATOR DE ACELERAÇÃO

O fator de aceleração calculado foi de: Ar=98

#### 4.11.3) TESTE T/C

##### CONDIÇÕES DE ENSAIO DO COMPONENTE

Temperatura máxima do ciclo	Tmáx=+70°C
Temperatura mínima do ciclo	Tmín=-20°C
Power on hour por ciclo	33,33 POH/ciclo
Tempo de teste	t=1000hrs
Número de ciclos	1000 ciclos

##### CICLO DO TESTE

Tabela 4.3) Tabela do ciclo do teste T/C

Temp (°C)	Tempo (min)
-20	25
+25	5
+70	25
+25	5

#### 4.11.4) RESUMO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observamos uma única falha durante os testes de confiabilidade, indicando que os LEDs tem um potencial de confiabilidade muito elevado. O critério de falha dos LEDs se baseou nas medidas de Vf e Ir conforme as especificações do fornecedor, e os mesmos foram medidas a 0, 168, 500 e 1000 horas dos testes de confiabilidade (HTB, T&H e T/C).

Tabela 4.4) Tabela de afr calculados

teste	Taxa de falhas média de LEDs					afr (FITs)		
	n	te(hrs)	Af	HTA	falhas	50%	60%	90%
HTB	315	1000	68	21E+6	0	32	43	108
T&H	219	1000	98	21E+6	1	78	94	181
T/C	214	1000	300	64E+6	0	11	14	36
TOTAL						121	151	325

Obs: HTA (Horas de Teste Acumuladas)=  $n \cdot te \cdot Af$

#### 4.12) CONCLUSÃO

O objetivo inicial era de provar que a taxa de falha média não seria maior que 130 FIT's para um nível de confiança de 50%, o que foi alcançado conforme podemos observar na tabela 4.4. A qualificação nos mostrou que existem algumas falhas no controle do processo, mas não a ponto de afetar a confiabilidade do componente de forma muito comprometedor. Basta que com estes resultados, o fornecedor tome ações corretivas no sentido de melhorar o processo e continue a monitorar o mesmo para evitar que o processo saia fora de controle. O fornecedor em questão está preparado para fornecer componentes confiáveis para os produtos projetados com uma vida útil de em torno de 11 anos. Os resultados aqui observados nos garantem que o componente terá uma vida média de 11 anos usados ininterruptamente durante 24 horas por dia.

#### 4.13) REFERÊNCIAS

- 1) Datasheet do fornecedor
- 2) Desenho IBM P/Ns 1589007 1589008 1589880 32F7603
- 3) Especificações de engenharia IBM P/N 873641
- 4) Especificações de engenharia IBM P/N 2413138
- 5) How to determine sample size and estimate failure rate in component life test  
Eduardo Correa de Moura  
American Society for Quality Control - Vol. 15

- 6) Tópicos sobre qualidade e confiabilidade de semicondutores  
Eduardo Corrêa de Moura  
Notas de aula - Qualitec
- 7) Relatório de análise de construção IBM  
No 2680D
- 8) Relatório de laboratório metalúrgico IBM  
No 2810 e 2926D
- 9) Reliability and degradation of semiconductor lasers and LEDs  
Mitsuo Fukuda  
Artech House 1991
- 10) Physics of semiconductor devices  
S. M. Sze  
John Wiley & Sons 1981 2nd Edition
- 11) Automação de um lab. de caracterização de semicondutores com  
um microcomputador PC-XT  
M.J.S.P. Brasil, P.R.P. Pedreira & P. Motisuke  
Rev. bras. de física aplicada e instr. vol. 4, pág.222 1989
- 12) Photo-luminescence os GaAs films grown by vacuum chemical  
epitaxy  
A.A. Bernussi, C.L. Barreto, M.M.G. Carvalho & P. Motisuke  
Journal of Applied Physics, vol. 64, pág. 1358-1362 (1988)
- 13) "Lumineszenzdioden"  
Catálogo de especificações de LEDs da Siemens AG - Jan/1991
- 14) Ligth-Emitting Diode reliability  
C.L. Zipfel  
Semiconductors and semimetals, vol. 22, parte C, cap. 6  
Editor do vol. W.T. Tsang, editor da série R.K. Willardson e  
A.C. Beer, pág. 239 (1985)
- 15) IBM Corporate Standard C-S 0-0216-000  
"General Quality Acceptance Requirements - IBM Production  
Suppliers"
- 16) Norma ABNT NB9002 (ISO9000)  
"Sistemas de Qualidade - Modelo para Garantia de Qualidade  
em Produção e Instalação"  
Ed. Associação Brasileira de Normas Técnicas
- 17) Questionário Base para Auditorias em Sistemas de Qualidade  
Programas de Tecnologias, IBM Sumaré, Rev. 2.0

## CAPÍTULO 5

### ESTUDO DE CASO II: QUALIFICAÇÃO DE LCD

#### 5.1) INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentaremos os principais resultados e análises da qualificação de módulos de cristais líquidos (LCD) de um fornecedor externo (fora do Brasil).

Basicamente nesta análise executamos alguns testes de confiabilidade e analisamos os dados dos testes que o fornecedor já vem executando na sua fábrica [2,3], e além disto apresentaremos alguns resultados da análise da degradação dos parâmetros eletro-ópticos que foram executados junto ao laboratório do CTI (Centro Tecnológico para Informática).

Neste estudo de caso faremos apenas uma avaliação do fornecedor, ou seja, não faremos o cálculo da taxa de falha média após os testes de confiabilidade e nem as auditorias do processo e sistema de qualidade, mas sim os testes mais importantes da metodologia de qualificação e uma análise dos dados de confiabilidade enviadas pelo fornecedor. Para que seja feita uma qualificação completa seria necessário um número muito grande de amostras, o que não é viável economicamente. Além disto, o fornecedor já tem um histórico de qualidade conhecido.

#### 5.2) DESCRIÇÃO DO COMPONENTE

Este componente é um display de cristal líquido, nemático torcido do tipo matriz de pontos com 16 caracteres por 1 linha. Cada caracter consiste de largura de 5 pontos e altura de 7 pontos. Possui conjunto de LEDs para iluminação (backlight). O controlador/driver é do tipo LSI HD44780. A alimentação é de +5V.

#### DADOS MECÂNICOS:

Dimensões do módulo (mm)	90Wx36Hx14D
Área efetiva do display (mm)	64,5Wx13,8H

Tamanho do caracter (5x7 dots) (mm)	3,07Wx6,56H
Tamanho do pitch (mm)	3,77
Tamanho do dot (mm)	0,55Wx0,75H
Peso (g)	±40

VALORES MÍN./MÁX. ABSOLUTOS

Alimentação circuito lógico(Vdd-Vo)	0/7,0V (mín/máx)
Alimentação do LCD(Vdd-Vo)	0/13,5V(mín/máx)
Tensão de entrada	Vss/Vdd(mín/máx)
Temperatura de operação	0/50°C (mín/máx)
Temp. de armazenamento	-20/70°C(mín/máx)

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Ta=25°C, Vdd=5,0±0,25V, VLED=5,0±0,25V

Tensão de entrada "high" (VIH)	2,2V mín
Tensão de entrada "low" (VIL)	0,6V máx
Tensão de saída "high" (VOH)	2,4V mín
Tensão de saída "low" (VOL)	0,4V máx
Corrente de alimentação (Vdd=5,0V)	1,0/2,0mA(típ/máx)
Corrente alim. do LED (VLED=5,0V)	30/40mA (típ/máx)

### 5.3) RESULTADOS DA ANÁLISE DE CONSTRUÇÃO

#### 5.3.1) INTRODUÇÃO

A análise de construção dos módulos de cristal líquido consistiu em analisar a construção do cristal líquido, o circuito integrado PLCC controlador/driver, diodos, resistores e a placa de circuito impresso.

As seguintes análises foram efetuadas:

- Inspeção externa
- Fotografia do módulo
- Raios X
- Remoção dos componentes
- Decapsulamento
- Inspeção óptica interna
- fotografia da pastilha (DIE)
- Análise da montagem via SEM

- Teste de tração do fio de ouro (wire-pull)
- Teste de integridade da passivação
- Análise das secções em corte (Cross-section)
- Análise do material
- Remoção da passivação
- Análise da metalização via SEM
- Remoção do metal
- Análise via SEM dos contatos e nódulos de Si
- Inspeção via SEM (90°)
- Dimensões

### 5.3.2) DESCRIÇÃO DA TECNOLOGIA

#### 5.3.2.1) ASPECTOS DA MONTAGEM GERAL DO MÓDULO (Figs. 5.1 até 5.18)

1) A placa de circuito impresso é de dupla face. As trilhas, furos metalizados e os conectores são de cobre cobertos com camadas de ouro sobre níquel. O conector que liga o módulo ao circuito externo é do tipo "edge" (fig. 5.8) de 15 vias em um dos lados da placa. Foi usado uma máscara protetora sobre as trilhas, notou-se uma segunda camada protetora entre as trilhas para eventualmente proteger contra entrada de umidade.

2) Um suporte de metal prende o display de cristal líquido e os condutores de "zebra strip" no local acima do painel de "backlight". (fig. 5.2).

3) O display de cristal líquido consiste de duas placas de vidro (frente e trazeiro), dois polarizadores (frente e trazeiro) e de um refletor trazeiro. (fig. 5.3 e 5.4).

4) O material de cristal líquido é colocado entre os dois vidros. Um material de prata/epoxy é usado para selagem e serve também como espaçador dos dois vidros. A prata/epoxy serve ainda para aterrar a superfície condutora. Os condutores transparentes depositados sobre o vidro que servem como eletrodos provavelmente são de ITO (Indium-Tin Oxide), óxido de índio e estanho ou apenas óxido de índio. (fig. 5.4).

5) Os polarizadores de frente e trazeiro são idênticos e os mesmos são colados no vidro através de adesivo. O polarizador é de

material orgânico. (fig. 5.4)

6) O refletor trazeiro consiste de uma placa protetora com o material refletor aplicado na sua superfície, que é por sua vez colado ao polarizador através de adesivo. Análise via EDX revelou que o material refletor contém os seguintes elementos : alumínio-silício-titânio-Índio. (fig. 5.4)

7) Os condutores "zebra strips" são montados entre o vidro e a placa de circuito impresso. Os strips ficam ao longo de todo comprimento do visor nos dois lados. O material condutor é de titânio. (figs. 5.5 a 5.7).

8) Este módulo emprega um painel de iluminação do tipo "backlight" com 8 diodos LEDs de GaAs. (figs. 5.9 e 5.10).

9) A montagem do diodo é sobre um terminal de cobre coberto com uma camada de prata. (fig. 5.10).

10) Os diodos estão distribuídos nas extremidades com 4 diodos de cada lado. O encapsulamento do LED é feito com um material amarelo transparente. (fig. 5.10).

11) A colagem da pastilha (die-attach) dos LEDs é de prata/epoxy. O lado oposto da pastilha do LED é coberto com uma fina camada de ouro. O corte da lâmina em pastilhas foi feito via serra (90%). O método da solda da bola de ouro é termossônica. (figs. 5.11 a 5.14).

12) A vista em secção do substrato de GaAs mostrou várias camadas. Estas camadas provavelmente são camadas epitaxiais. A região de cima do diodo é o lado P, enquanto que o oposto é lado N. (fig. 5.12).

13) Oito resistores são usados no módulo. O material de corpo é de cerâmica. Os terminais são formados de prata/epoxy cobertos com níquel. Para a conexão do material resistivo aos terminais, é usada uma camada de prata. A mesma é usada de uma extremidade a outra para o resistor de 0 Ohm. O material resistivo é de óxido de rutênio, que é coberto com um vidro protetivo. (figs. 5.15 a 5.18).

#### 5.3.3.2) MONTAGEM DO CONTROLADOR/DRIVER PLCC (Figs. 5.19 até 5.22)

1) É um PLCC de 80 pinos com terminais "gull-wing". (fig. 5.19).

- 2) O contato do PLCC com o PAD da placa de circuito impresso é feito com solda de estanho/chumbo. (fig. 5.19).
- 3) O material dos terminais (lead-frame) usado foi Fe-Ni. Externamente o terminal é coberto com camada de estanho/chumbo. Internamente o terminal é coberto com prata sobre uma fina camada (flash) de cobre. (fig. 5.19).
- 4) As pastilhas foram serradas (100%). (fig. 5.21).
- 5) Foi utilizado método termossônico para solda da bola de ouro. (fig. 5.22).
- 6) A colagem da pastilha (Die-attach) é uma mistura de prata/epoxy. (fig. 5.20).

#### 5.3.3.3) PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA PASTILHA (DIE) (Figs. 5.23 até 5.41)

- 1) HD44780 fabricado com processo CMOS, oxidação seletiva, poço-P e substrato N. (fig. 5.23).
- 2) Passivação de nitreto de silício. (fig. 5.24).
- 3) Interconexão de alumínio dopado com Si (0,17% em peso) definida por decapagem úmida. (figs. 5.25 a 5.28).
- 4) Óxido intermediário consiste de Dióxido de Silício dopado com fósforo (3.5% em peso). (fig. 5.34).
- 5) Uma camada de Si Poli é usada para as portas. (figs. 5.35 e 5.37).
- 6) Difusões de  $N^+$  e  $P^+$  são usadas para fonte/dreno. (fig. 5.34).
- 7) O controlador/driver emprega matrizes ROM e matriz de células de memória SRAM CMOS de 6 transistores. (figs. 5.37 a 5.41).

5.3.4) ANÁLISE FOTOGRÁFICA DOS MÓDULOS

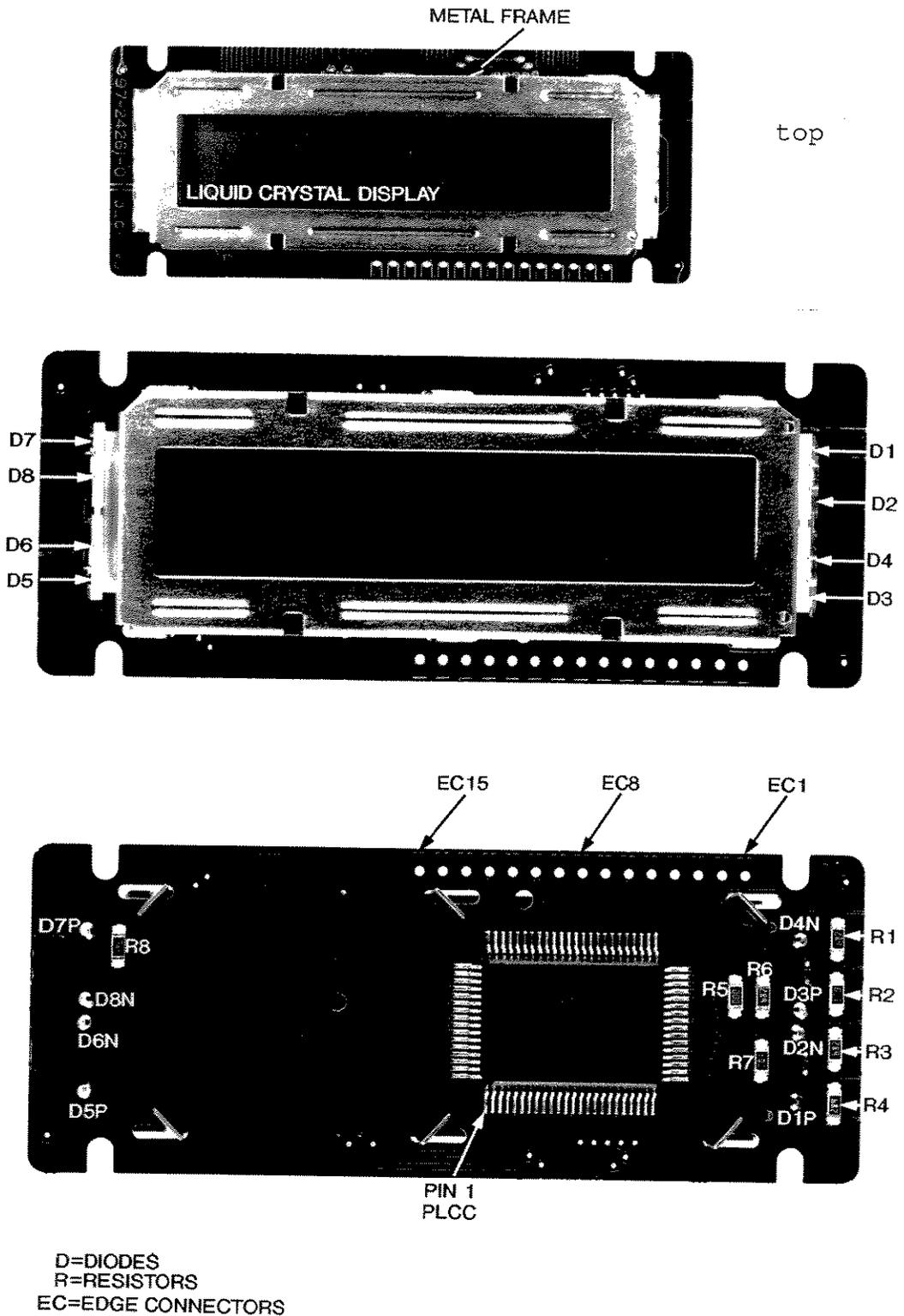


Fig. 5.1) Módulo de LCD montado. Mag. 1X e 1,5X  
Foto obtida Via microscópio óptico

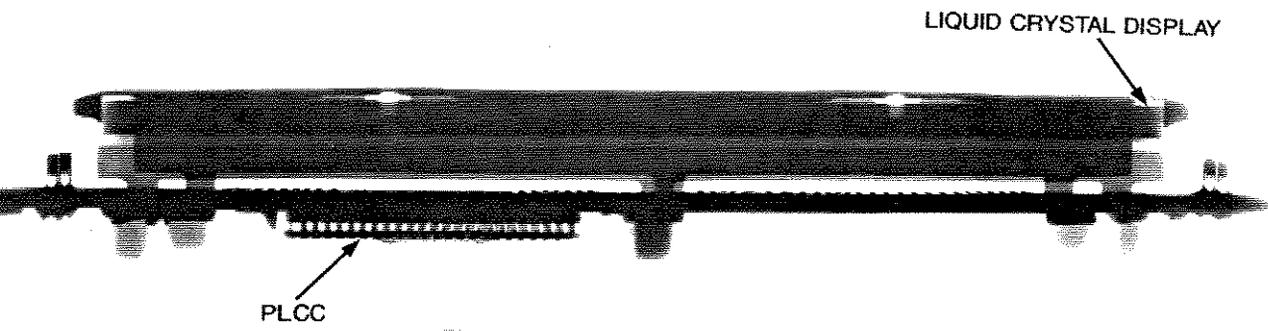
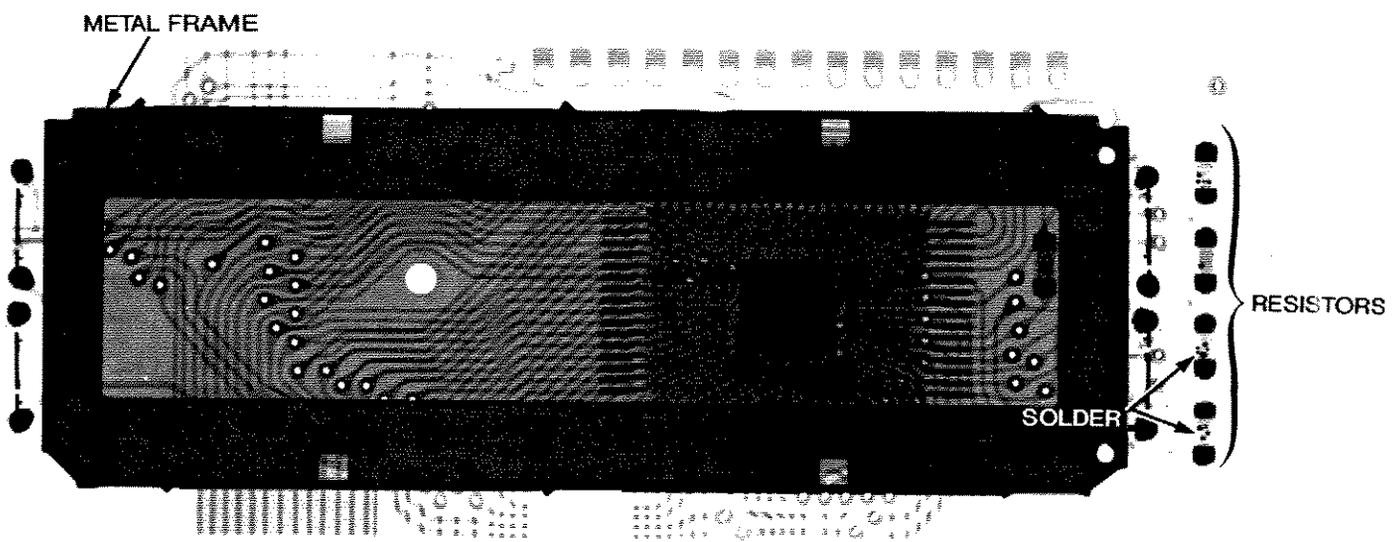


Fig. 5.2) Fotografia de raio-X do módulo. Mag. 1,8X

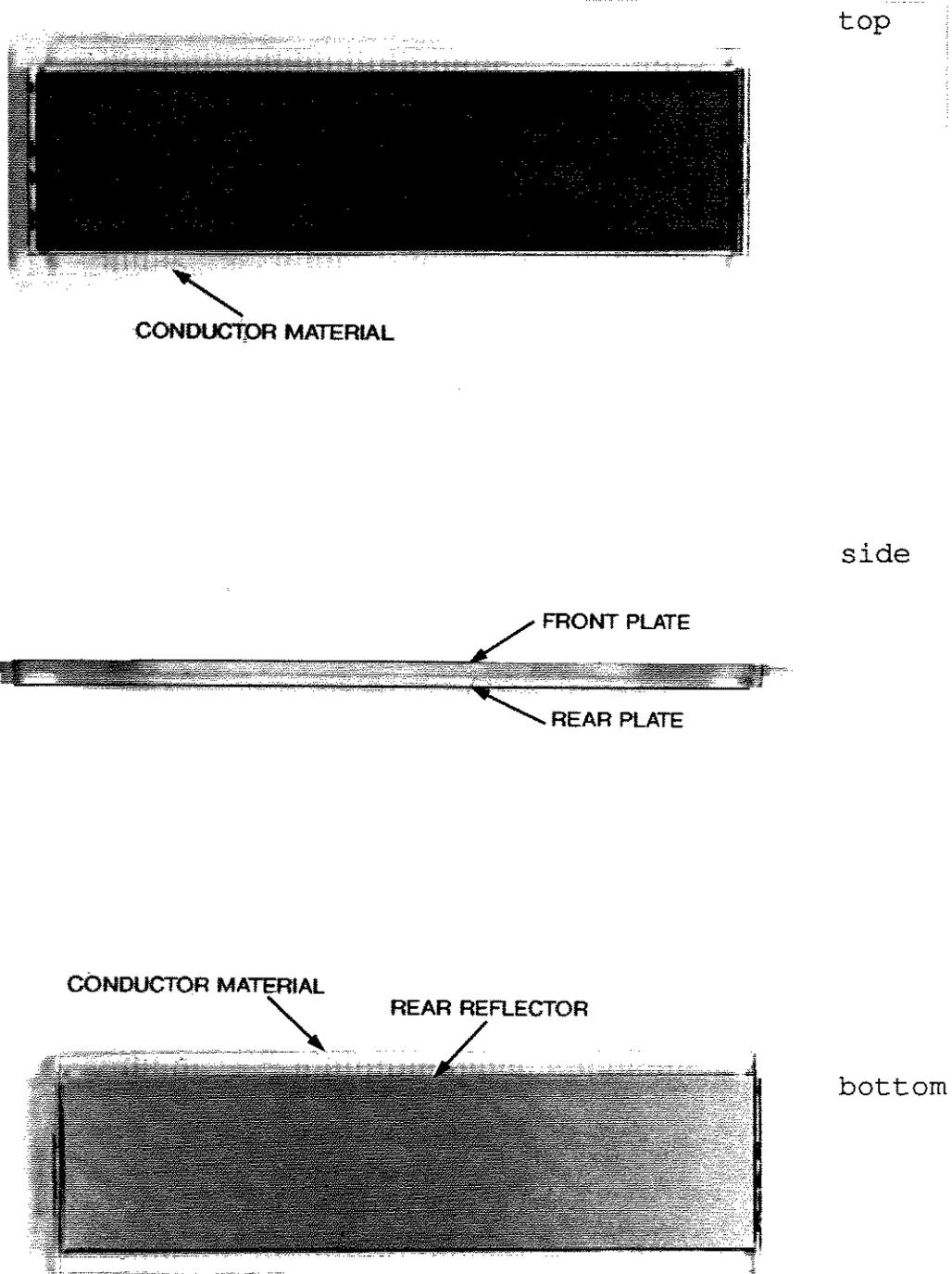
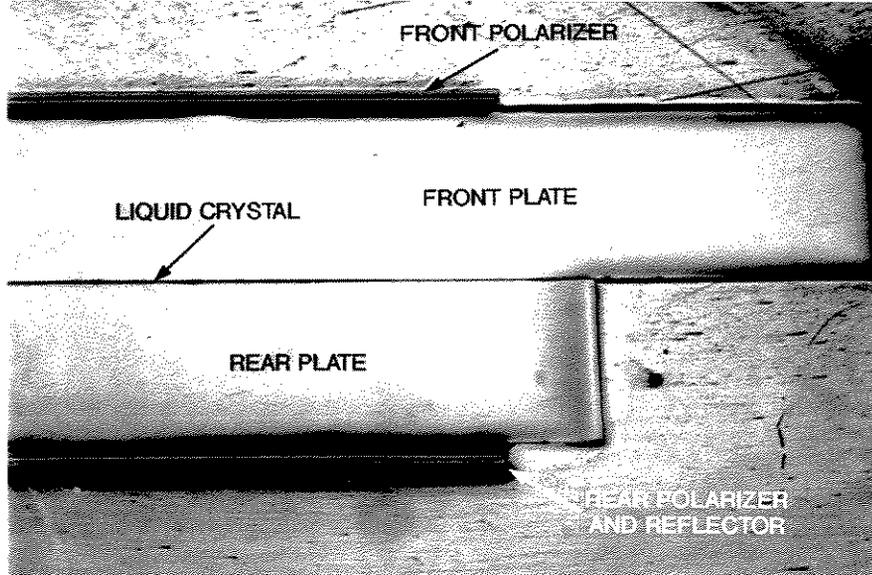


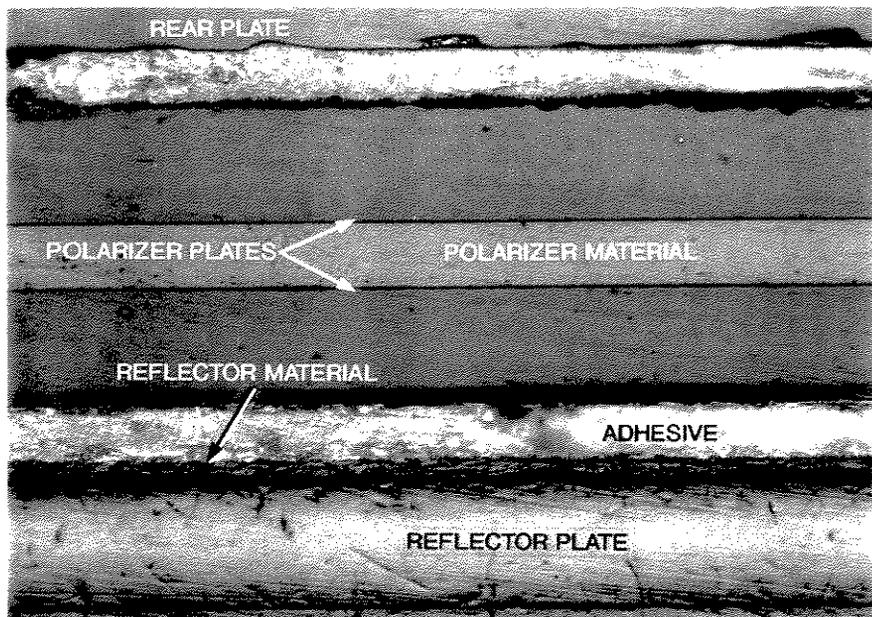
Fig. 5.3) Fotografia óptica do LCD. Mag. 1,5X



Mag. 20x



Mag. 400x



Mag. 320x

Fig. 5.4) Vista da secção do LCD  
Foto obtida Via microscópio óptico

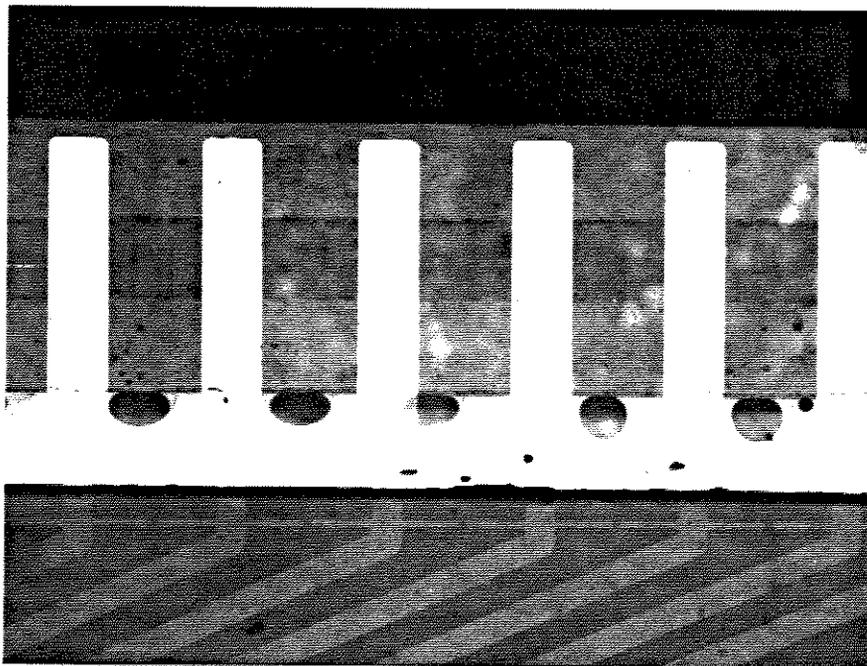
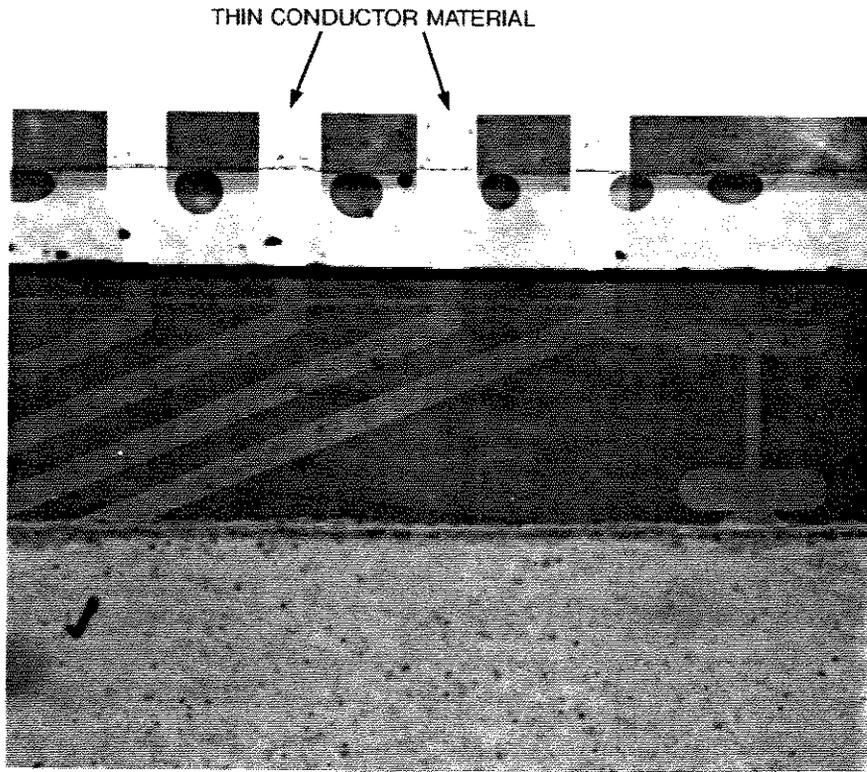
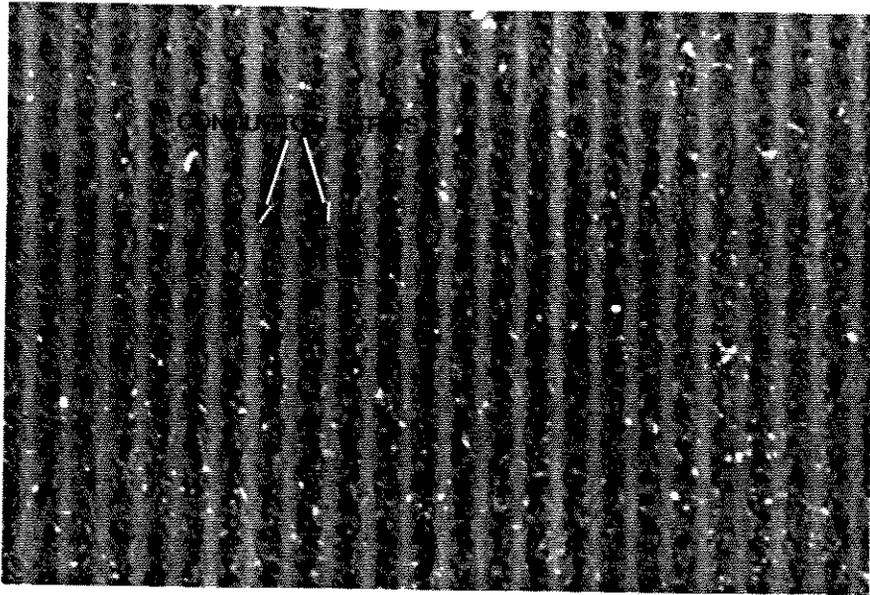


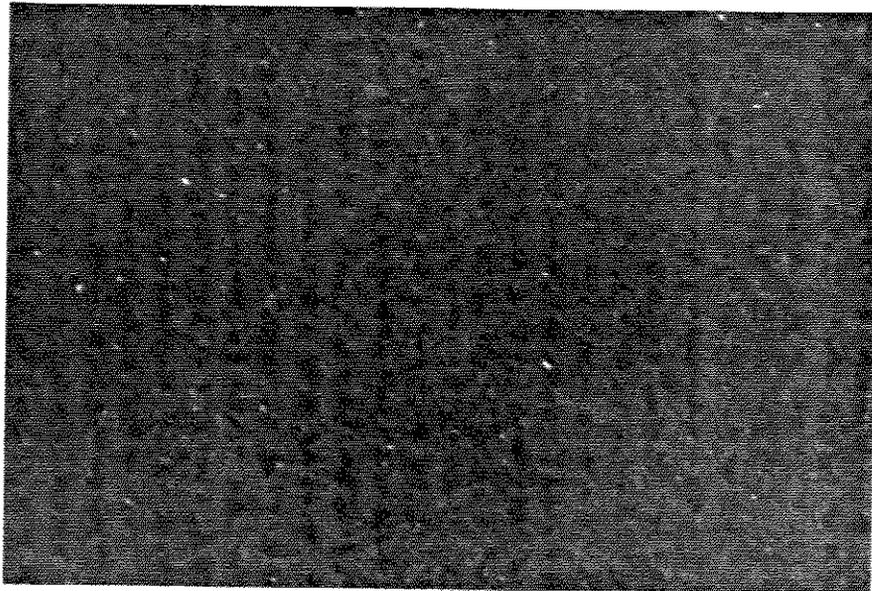
Fig. 5.5) Fotografia óptica dos condutores do LCD. Mag. 20X



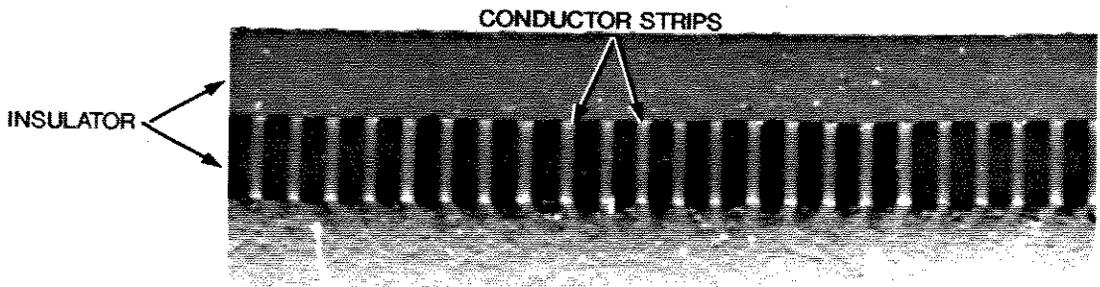
Fig. 5.6) Vista óptica dos "zebra strips". Mag. 1,5X



top

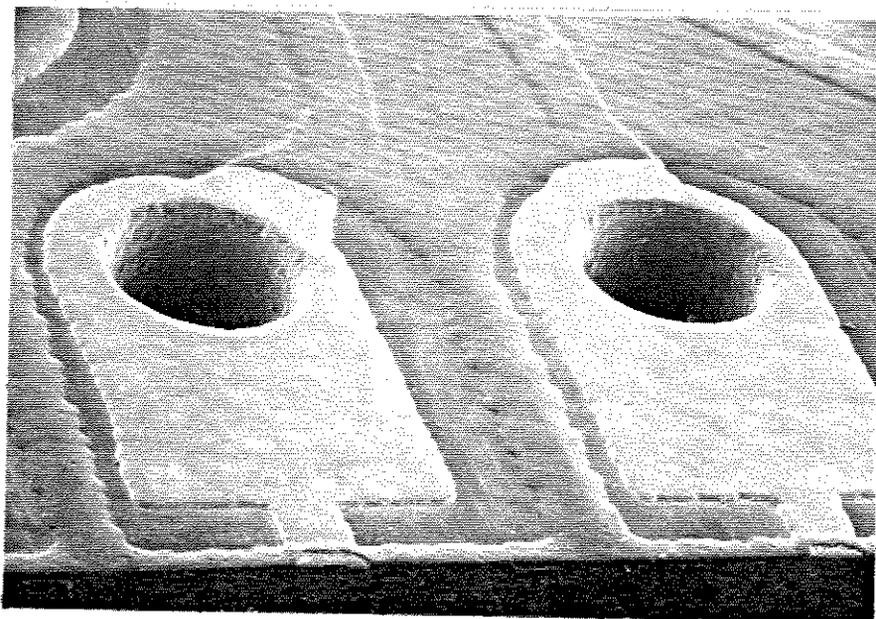


bottom



side

Fig. 5.7) Vista em detalhes do "zebra strip". Mag. 20x  
Foto obtida via Microscopia óptica

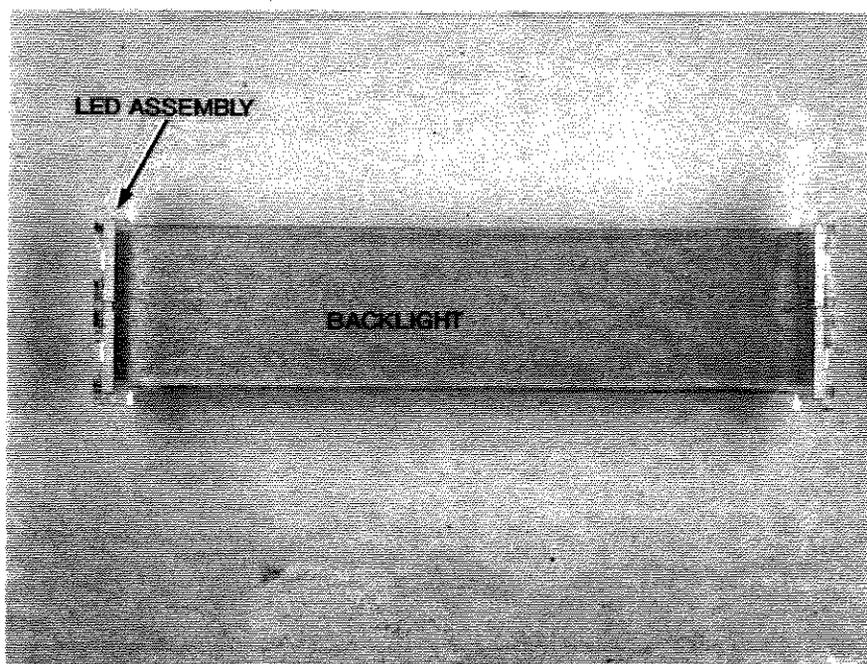


Mag. 25x

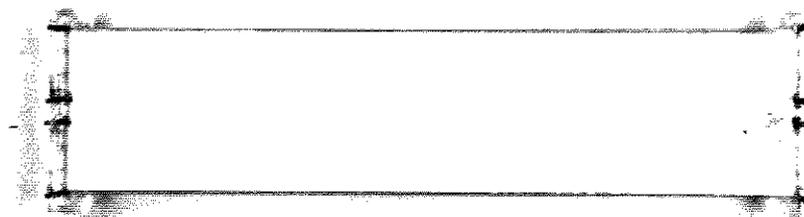


Mag. 85x

Fig. 5.8) Foto via SEM dos conectores edge (60°)

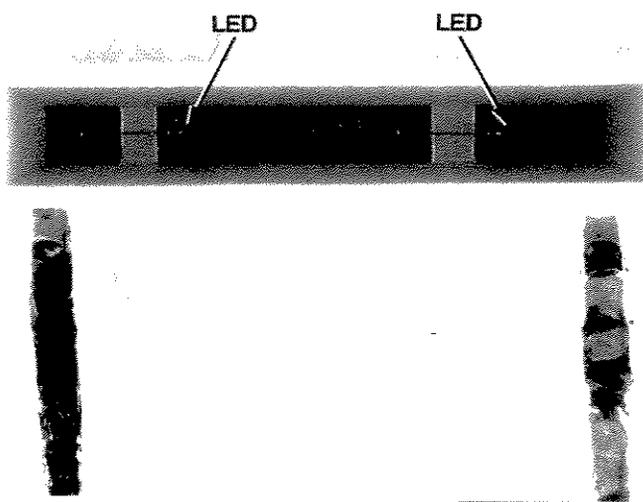


top

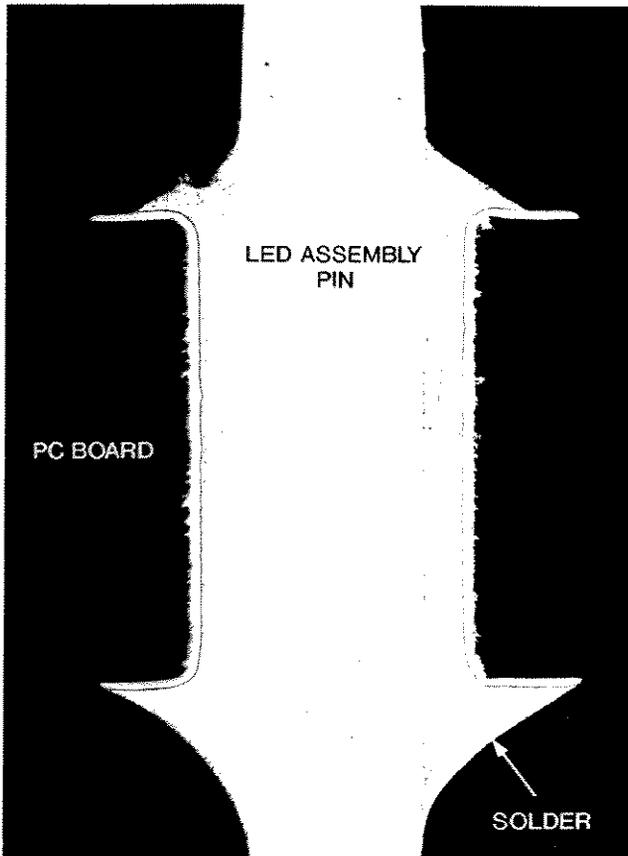


bottom

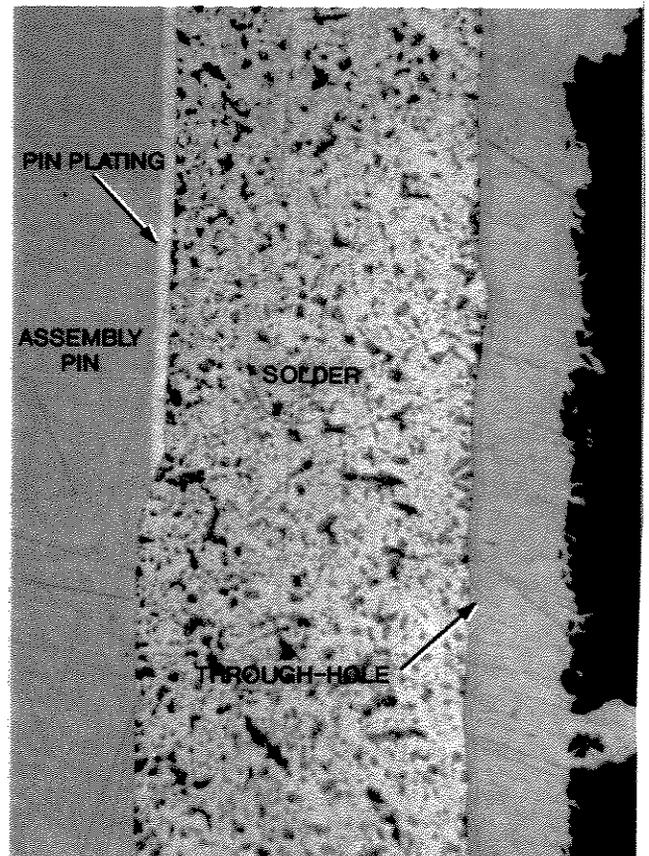
Fig. 5.9) Foto da montagem do LED (backlight). Mag. 1,2X  
Foto obtida Via microscópio óptico



Mag. 10x

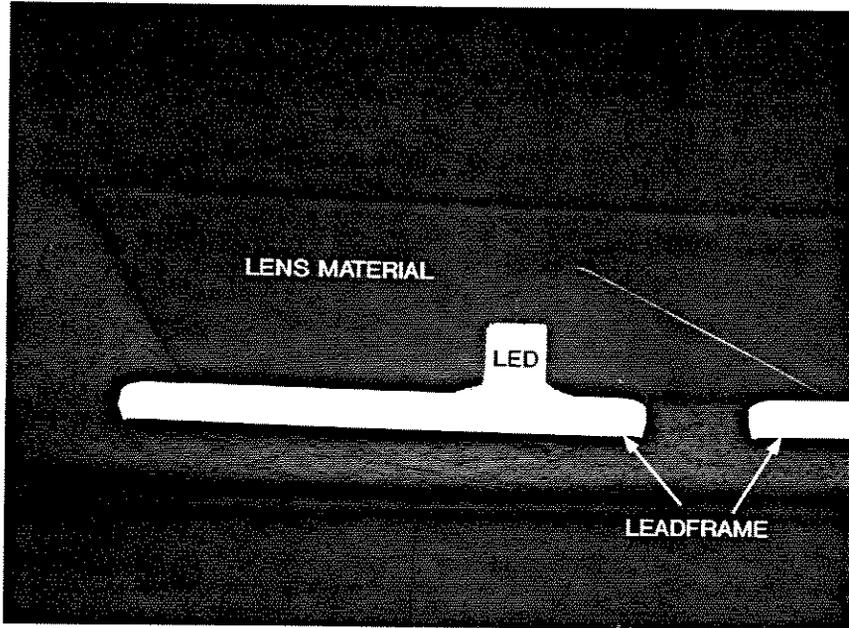


Mag. 40x

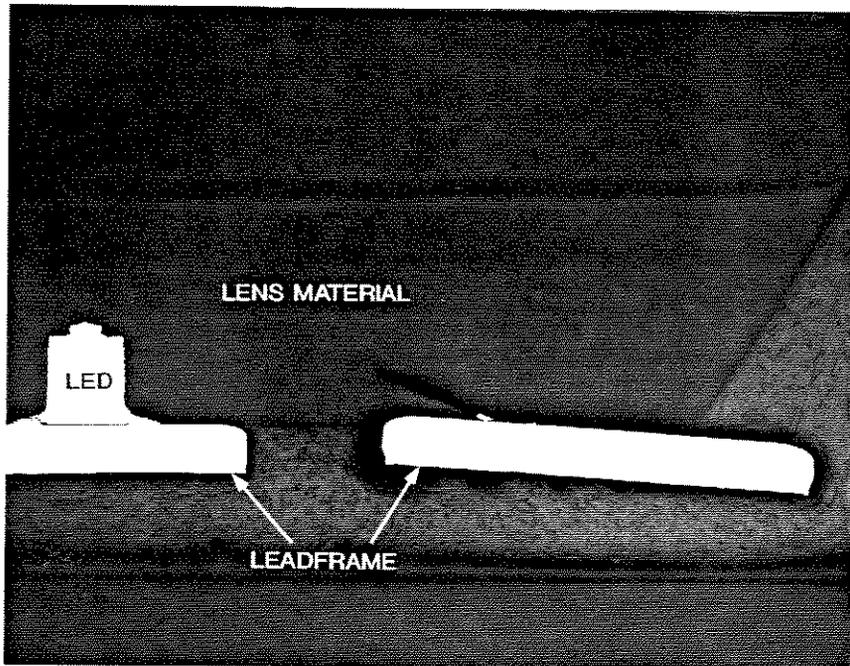


Mag. 320x

Fig. 5.10) Detalhes da montagem dos LEDs  
Foto obtida Via microscópio óptico

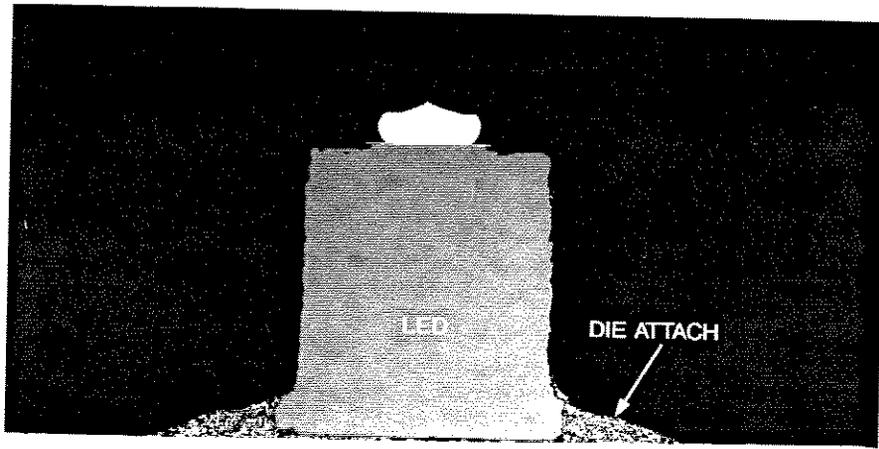


Mag. 30x



Mag. 40x

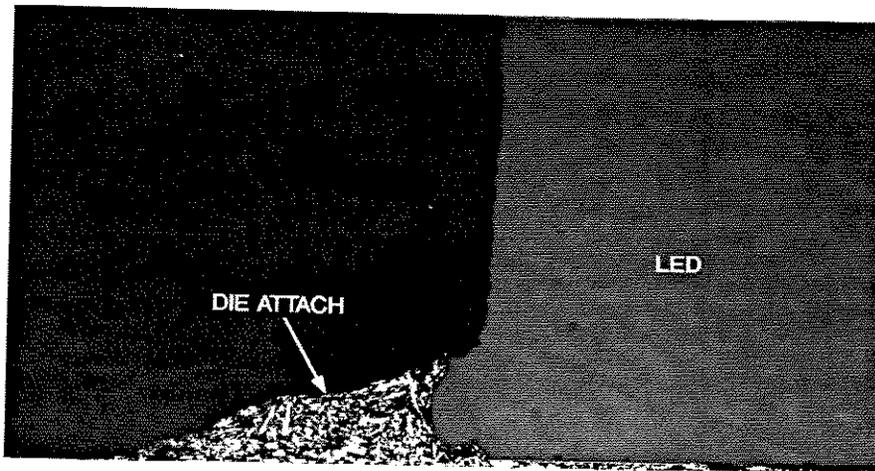
Fig. 5.11) Vista geral mostrando a construção dos LED's.  
Foto obtida Via microscópio óptico



LEADFRAME



Mag. 130x

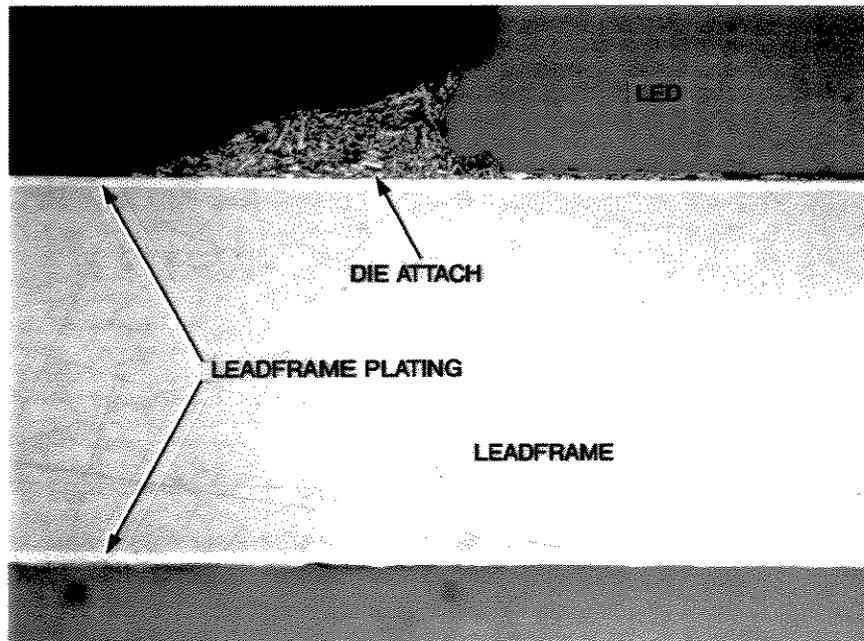


LEADFRAME PLATING

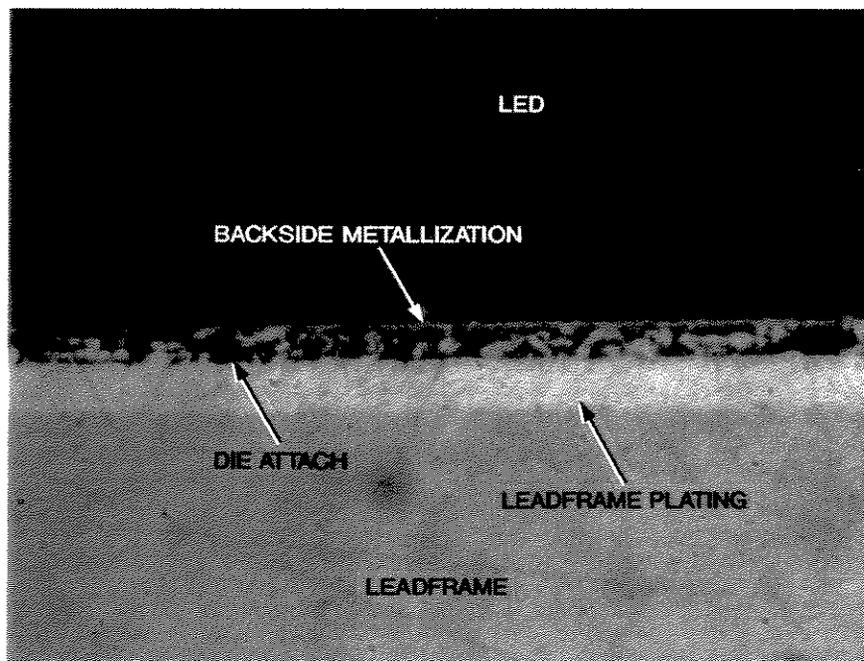
LEADFRAME

Mag. 320x

Fig. 5.12) Detalhes do DIE e die-attach do LED  
Foto obtida Via microscópio óptico

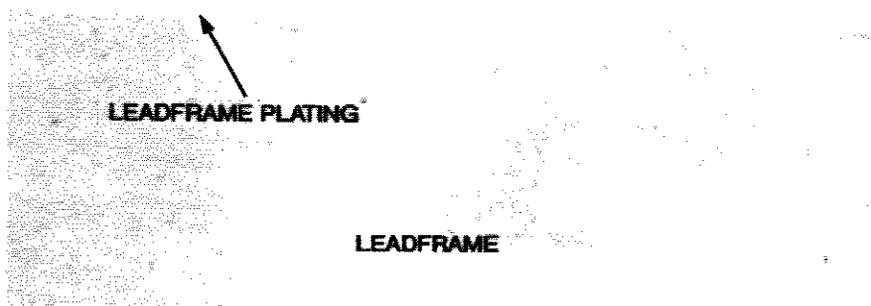


Mag. 320x

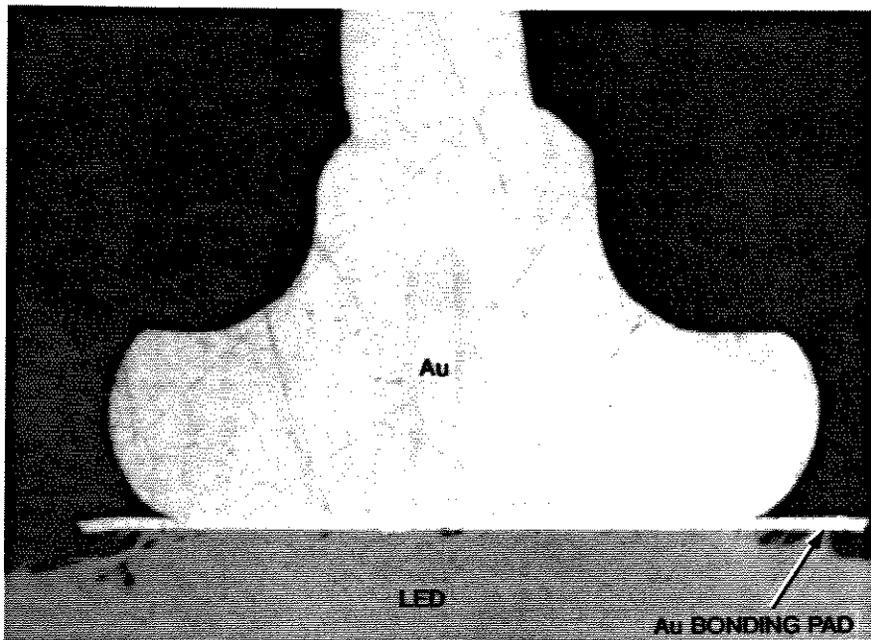


Mag. 1600x

Fig. 5.13) Detalhes das várias camadas entre o DIE e die-attach  
Foto obtida Via microscópio óptico

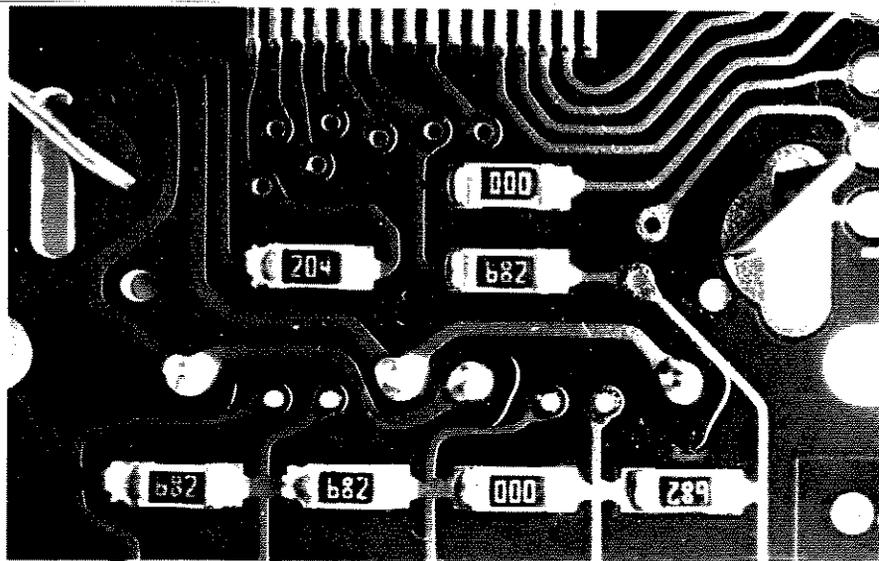


Mag. 1000x

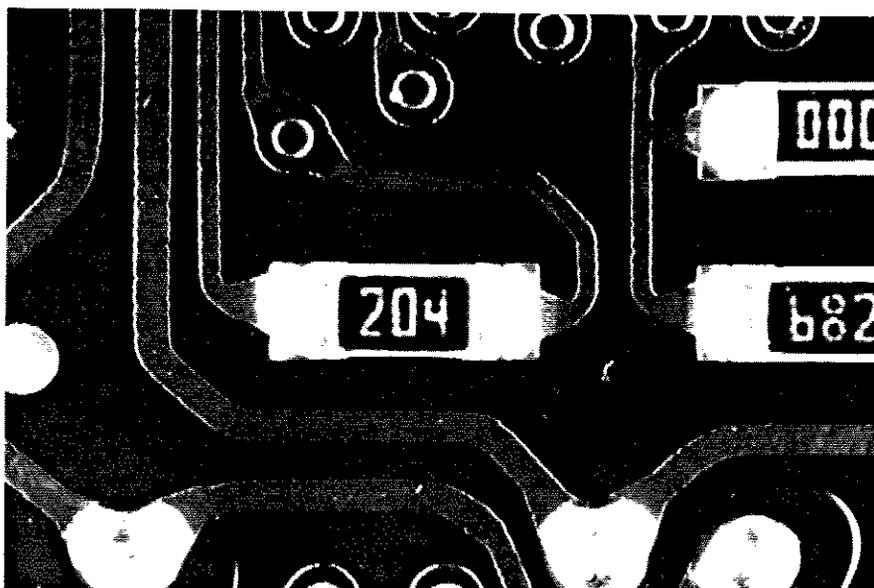


Mag. 800x

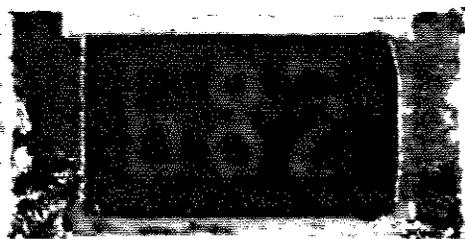
Fig. 5.14) Detalhes dos stitch e bola de ouro do LED  
Foto obtida Via microscópio óptico



Mag. 3.5x

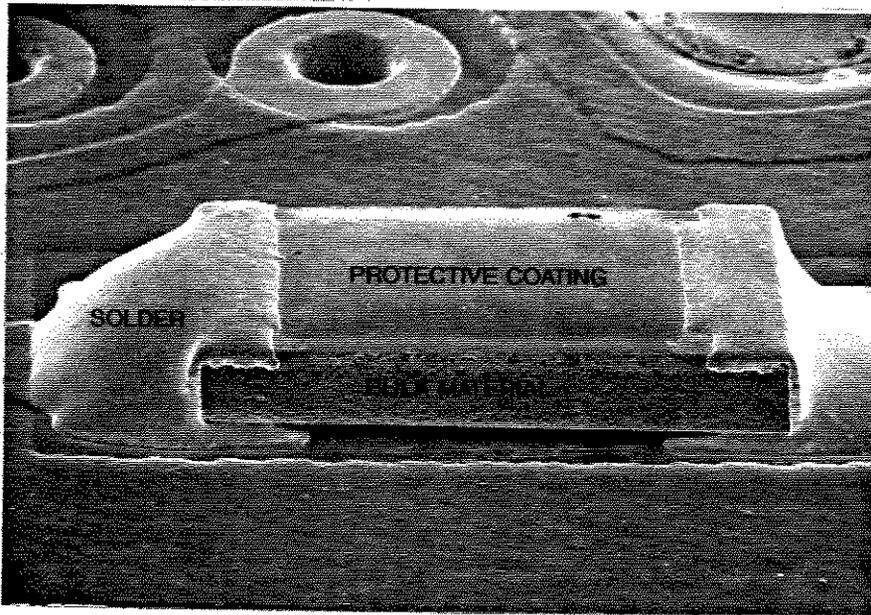


Mag. 7.5x

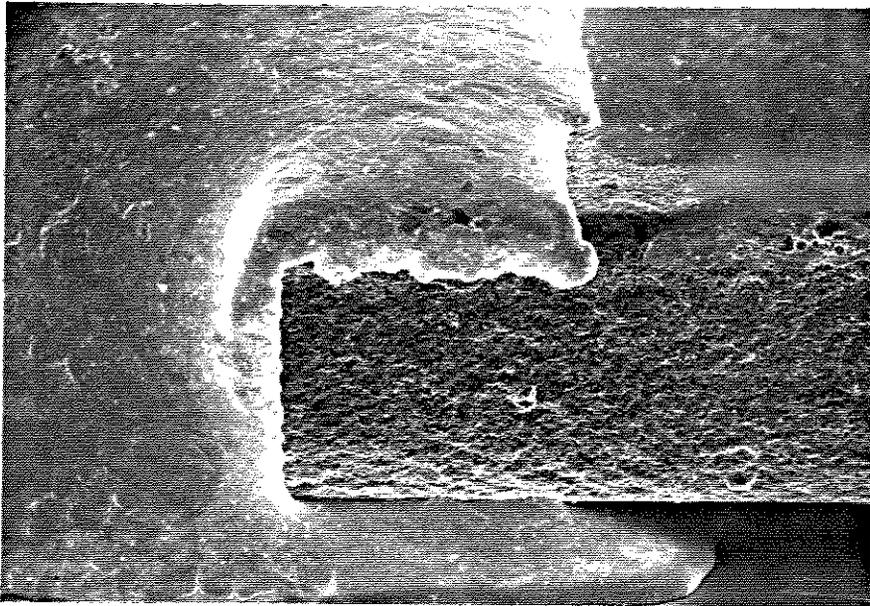


Mag. 20x

Fig. 5.15) Vista óptica dos resistores

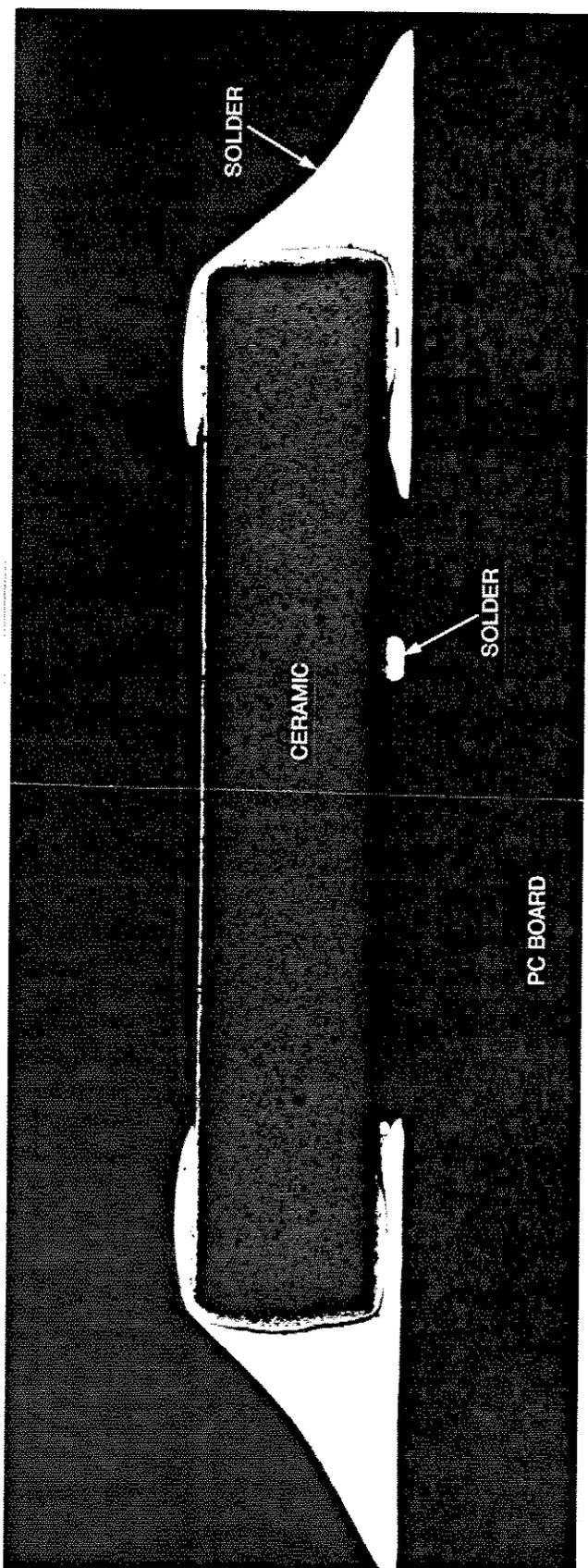


Mag. 25x

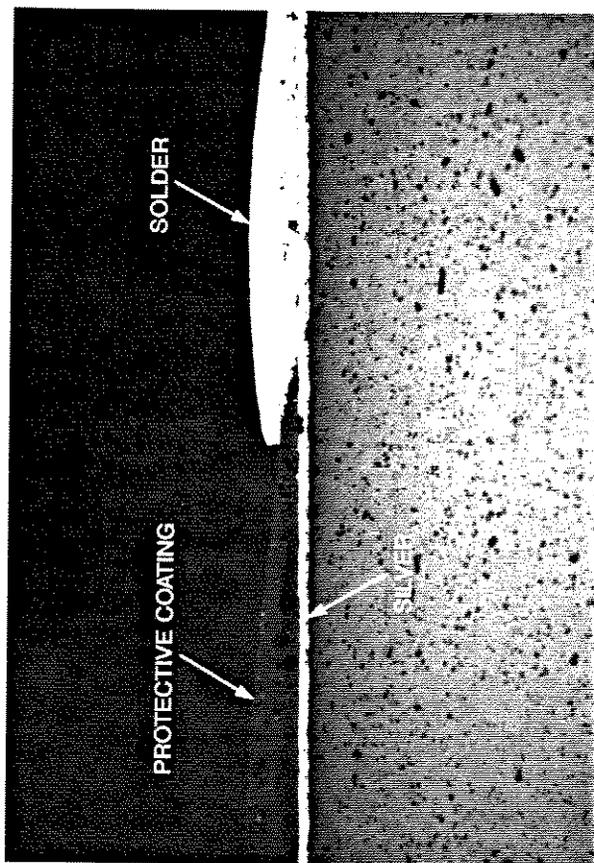


Mag. 100x

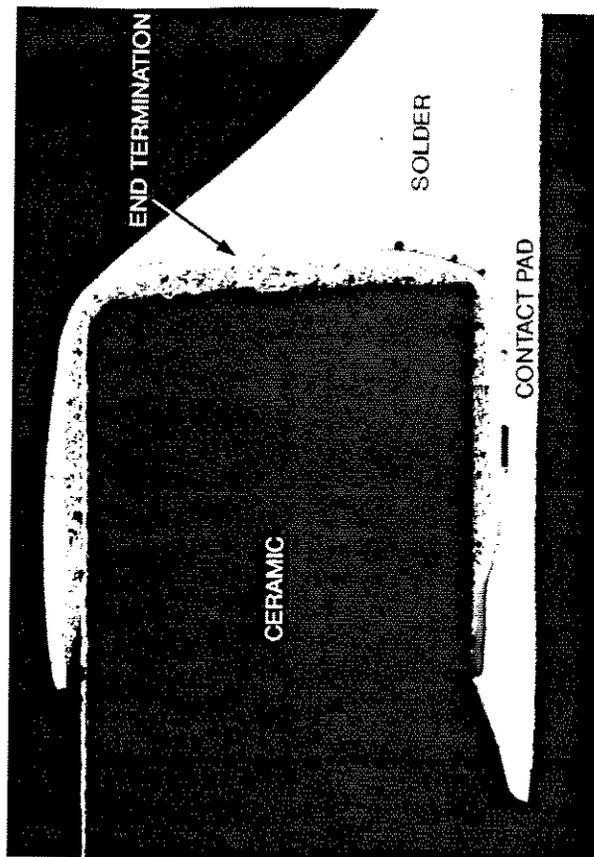
Fig. 5.16) Vista via SEM do resistor (60°)



Mag. 50x

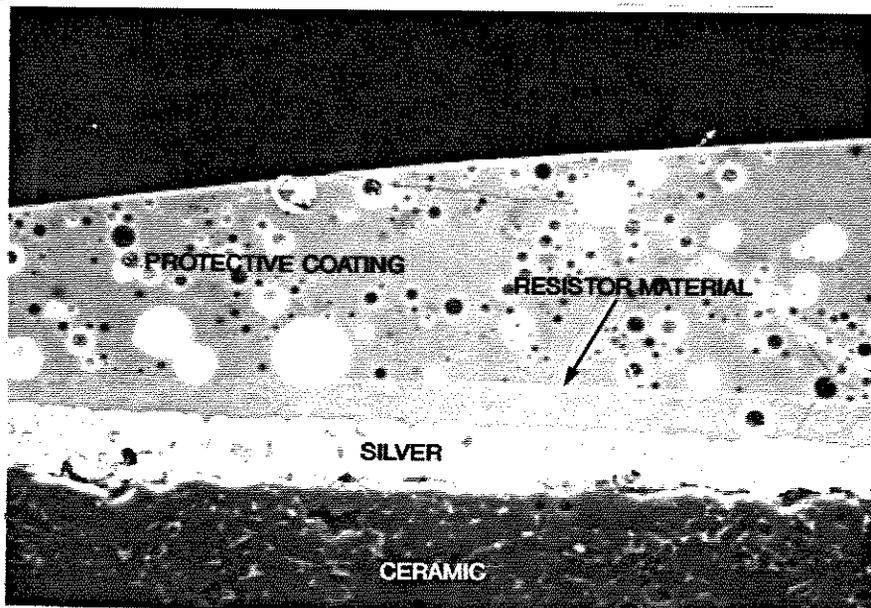


Mag. 130x

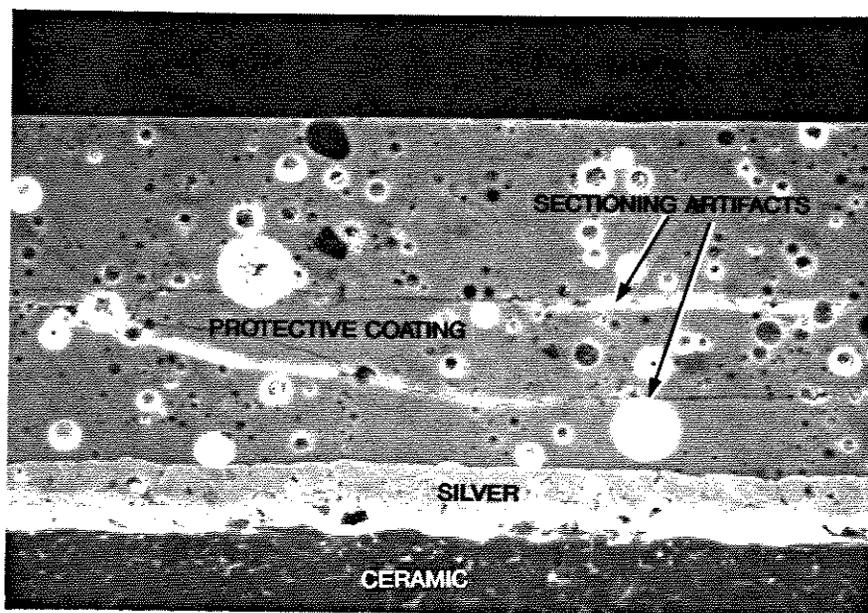


Mag. 100x

Fig. 5.17) Vista em secção do resistor  
 Observa-se solda sobre o corpo do resistor  
 Foto obtida Via microscópio óptico

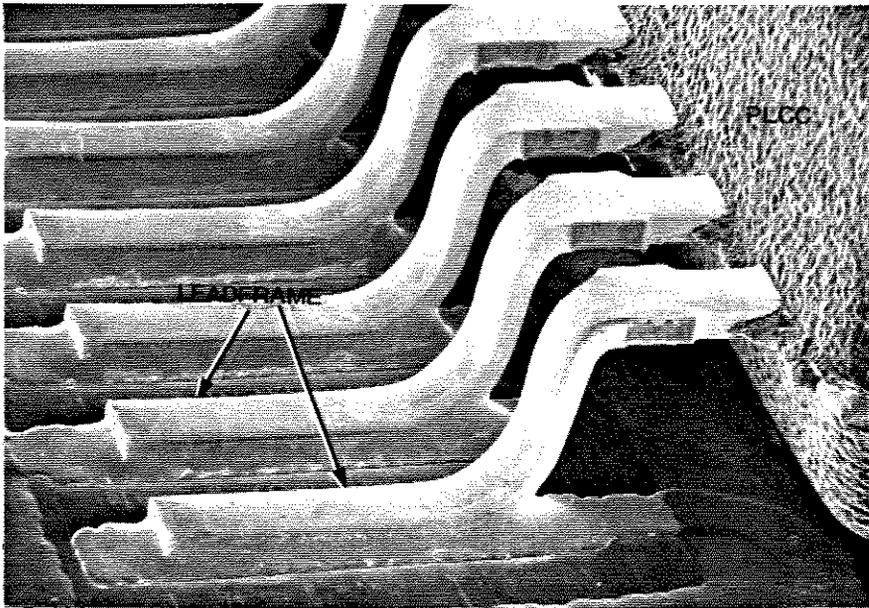


6.8K ohm



0 ohm

Fig. 5.18) Foto via SEM da secção do resistor. Mag. 850X

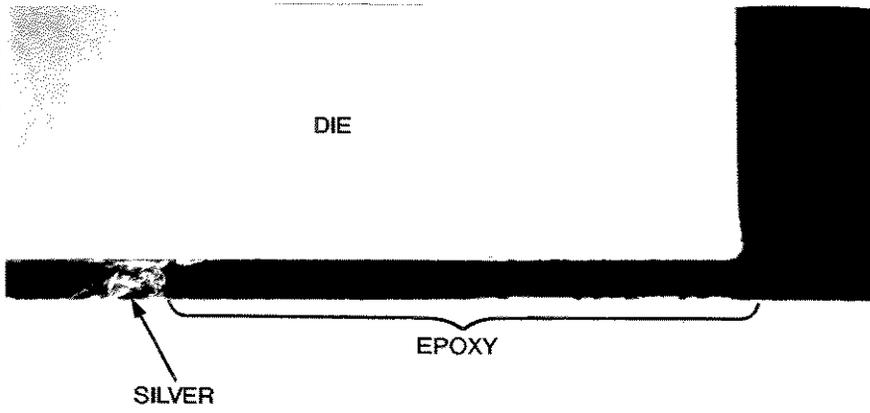


Mag. 25x

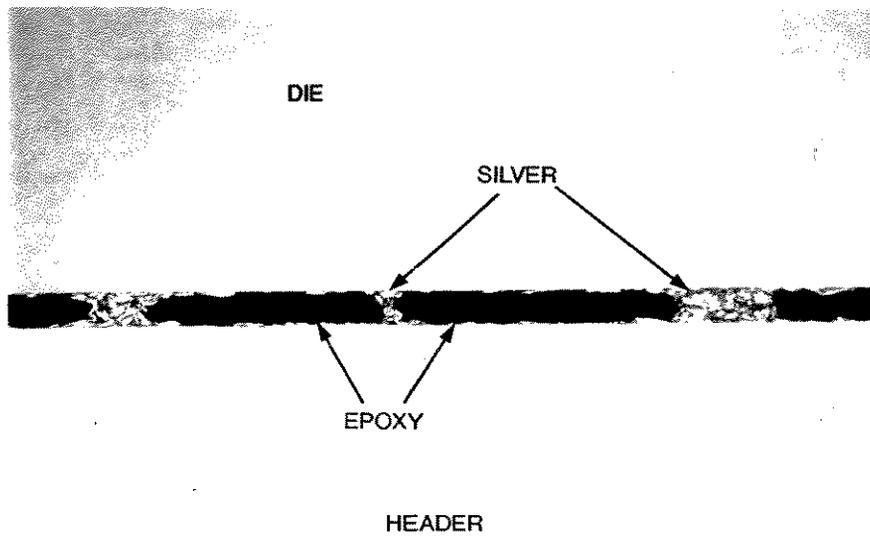


Mag. 50x

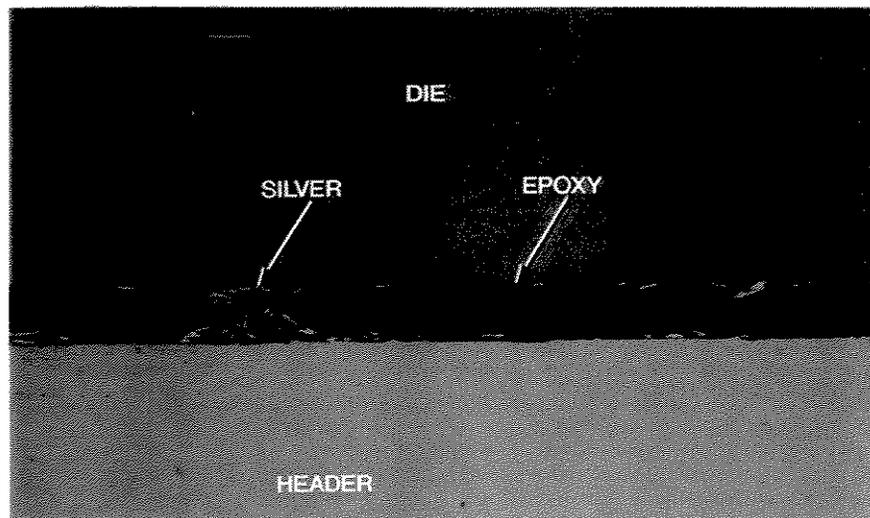
Fig. 5.19) Vista dos terminais do PLCC via SEM (60°)



Mag. 320x

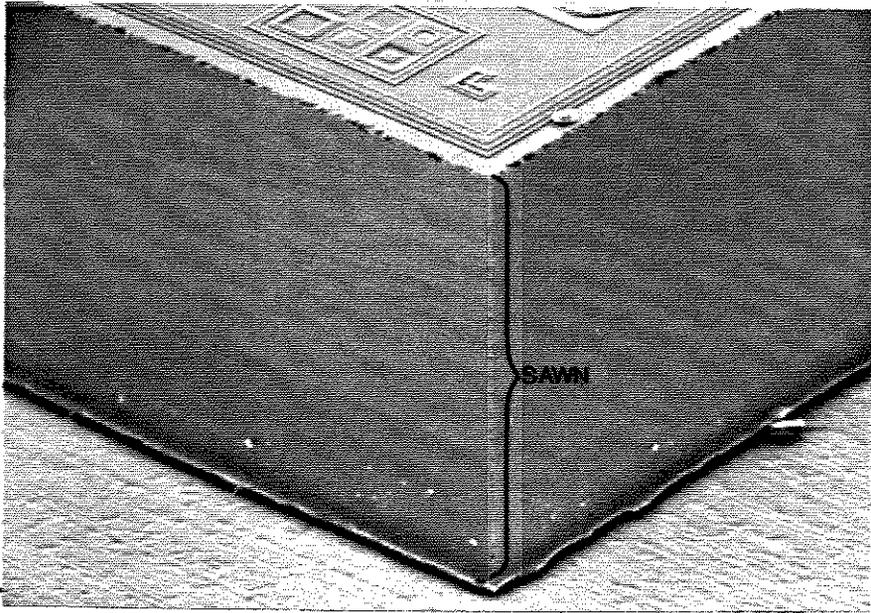


Mag. 320x

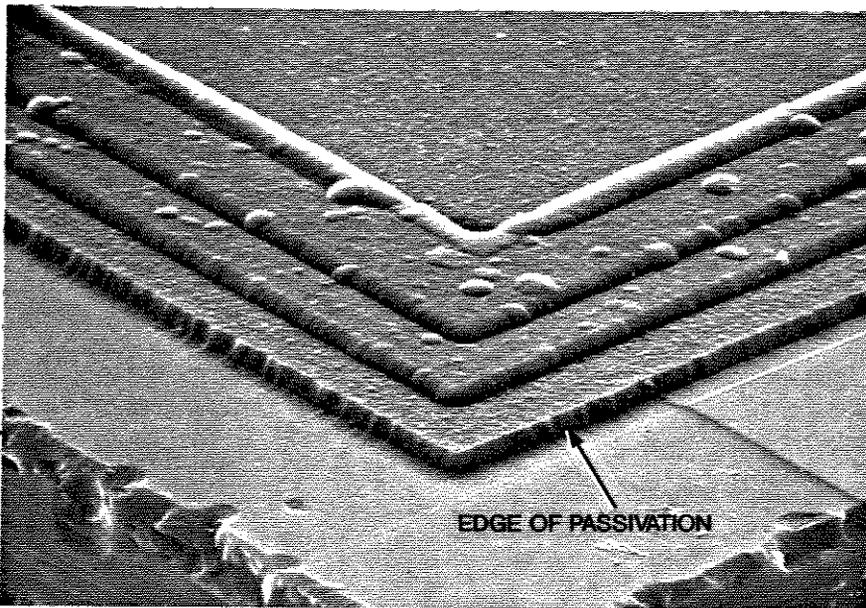


Mag. 500x

Fig. 5.20) Vista em secção do die-attach  
Foto obtida Via microscópio óptico



Mag. 150x



Mag. 1500x

Fig. 5.21) Vista via SEM da qualidade da serragem (60°)

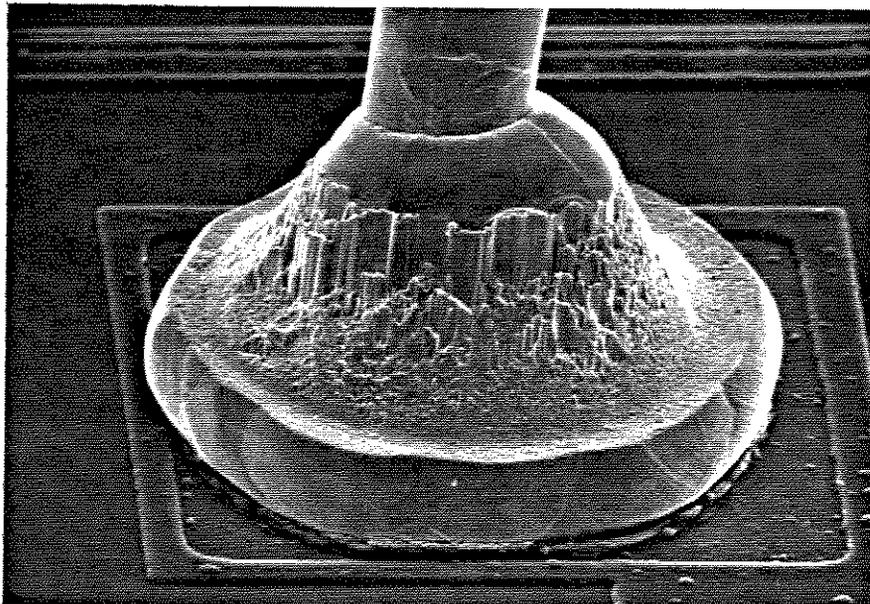
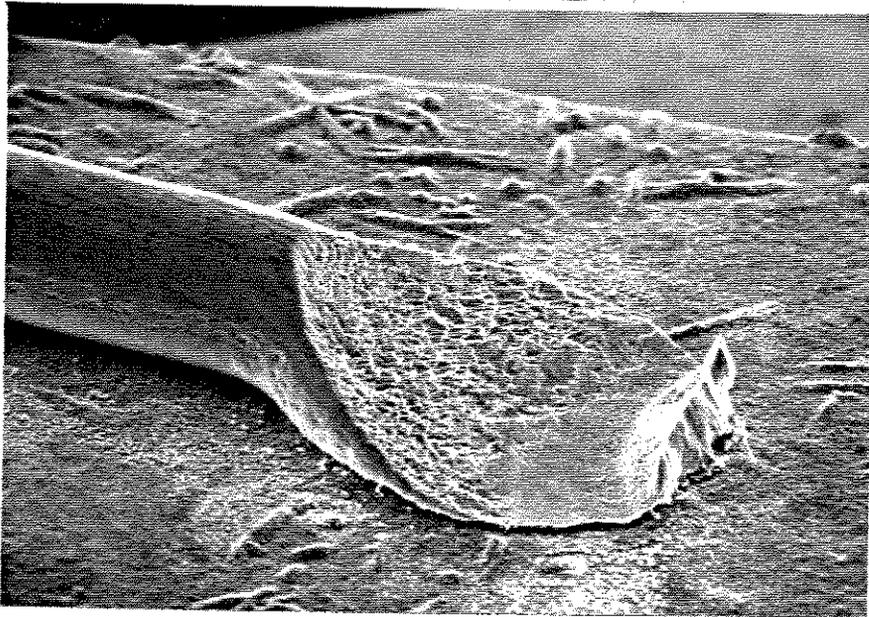


Fig. 5.22) SEM do ponto de solda e bola de ouro. Mag. 750X, 60°

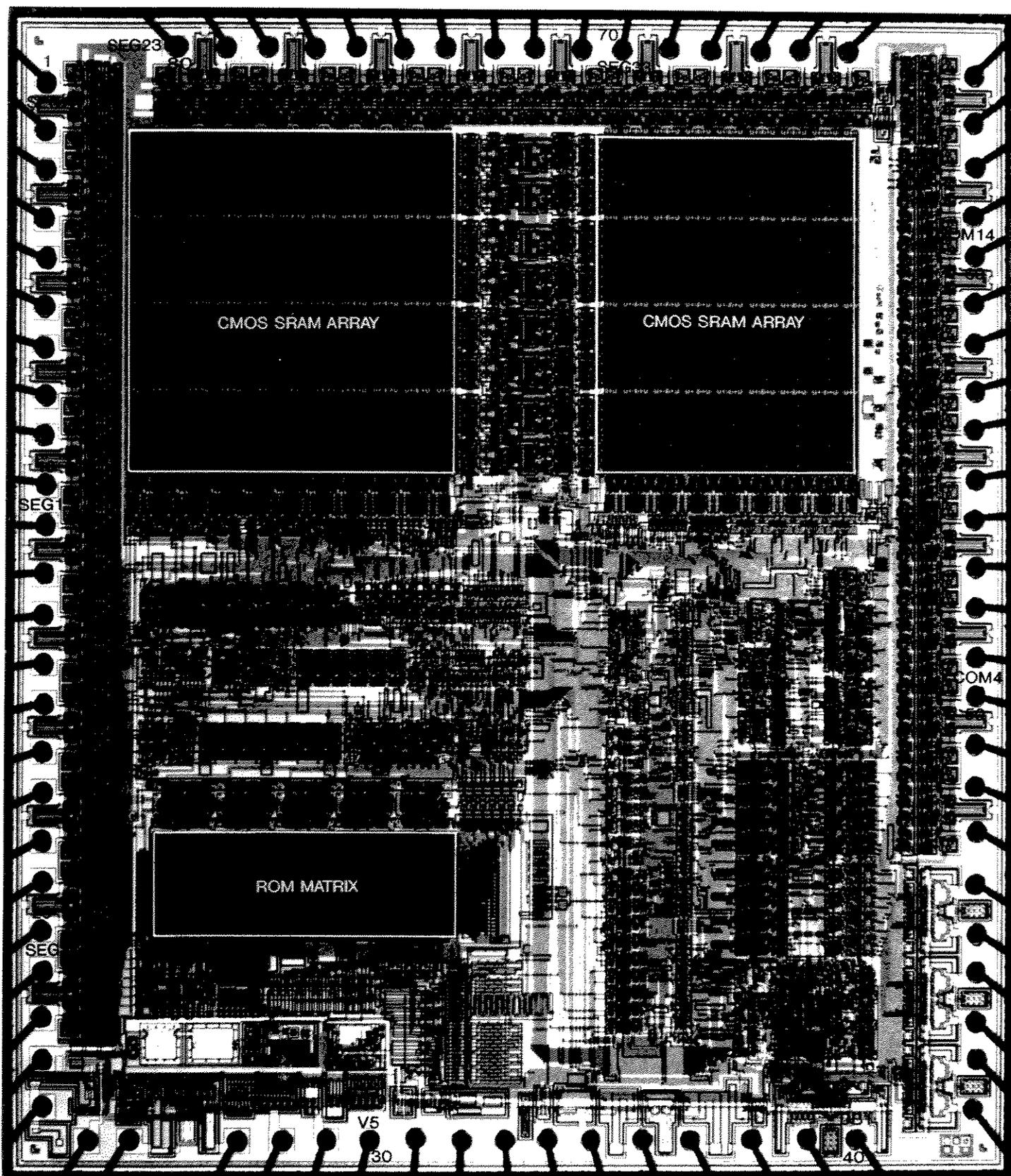
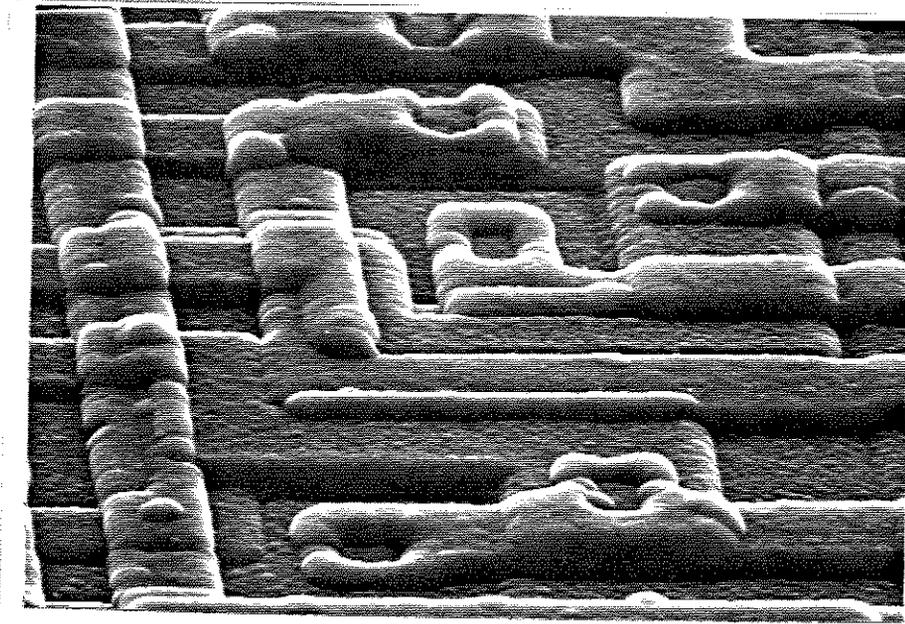
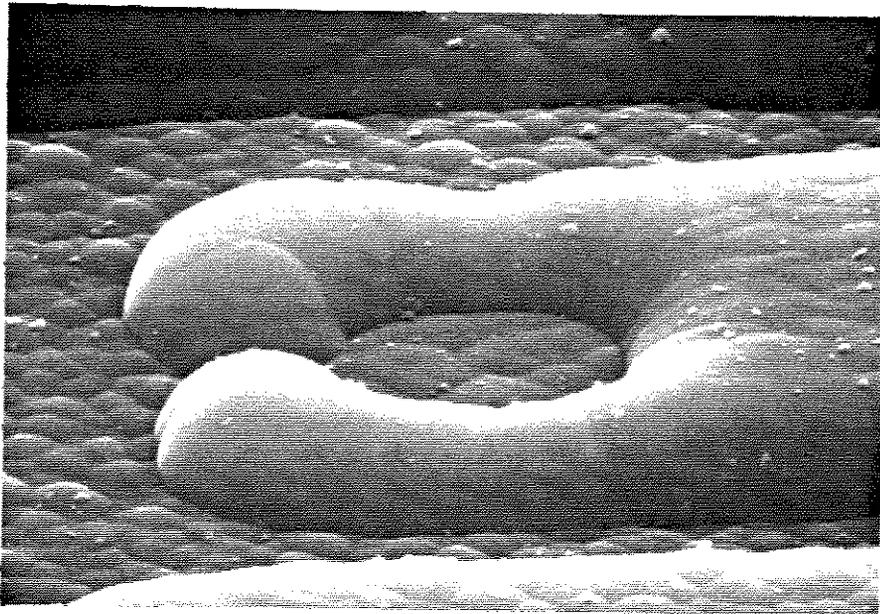


Fig. 5.23) Foto do DIE HD44780. Mag. 35X  
foto obtida Via microscópio óptico

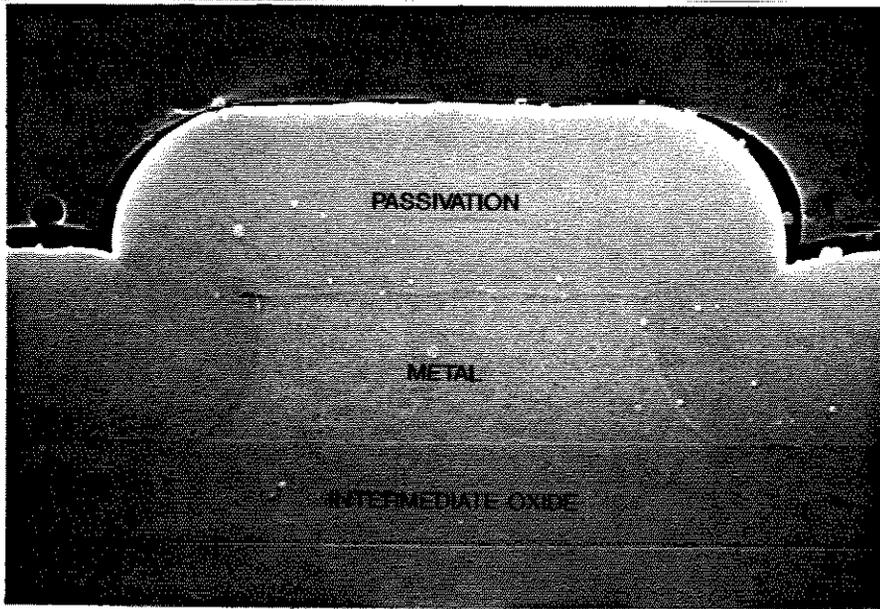


Mag. 2500x



Mag. 12,000x

Fig. 5.24) Vista via SEM da camada de passivação (60°)



Mag. 17,500x.

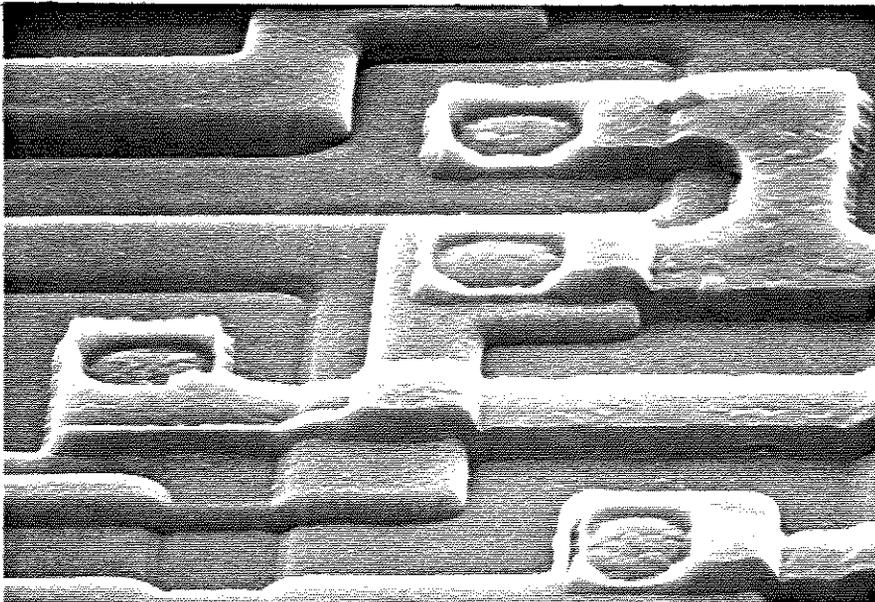
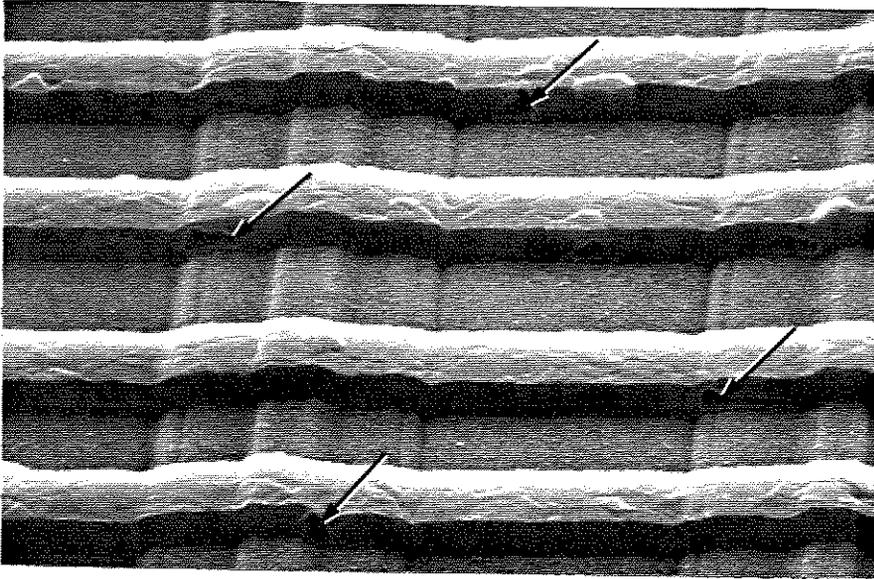
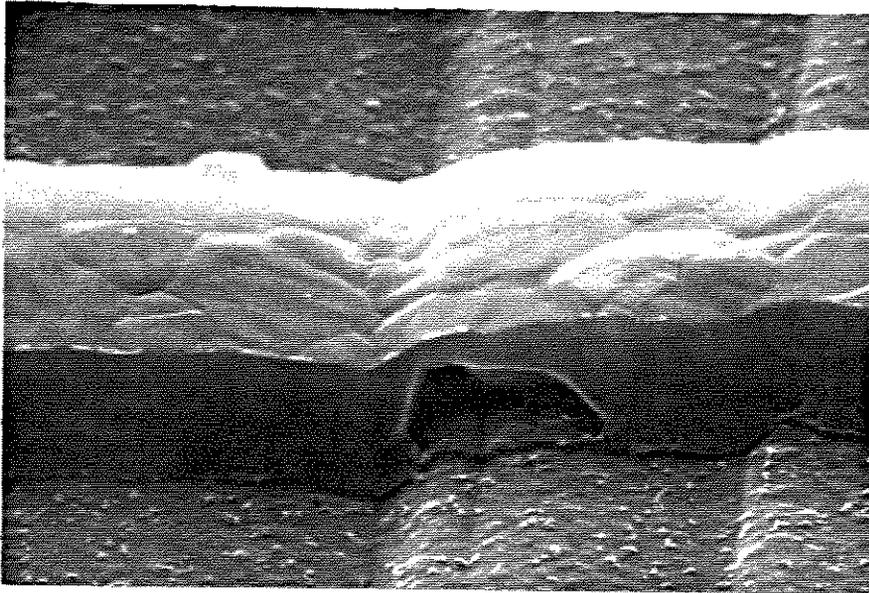


Fig. 5.25) Vista geral da cobertura de metal via SEM.

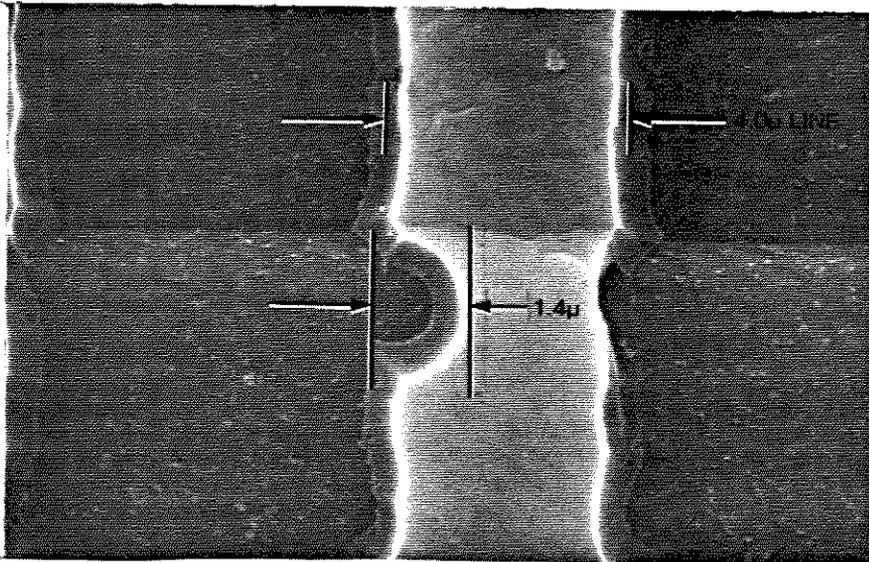
Mag. 3500X, 60°



Mag. 3500x, 60°

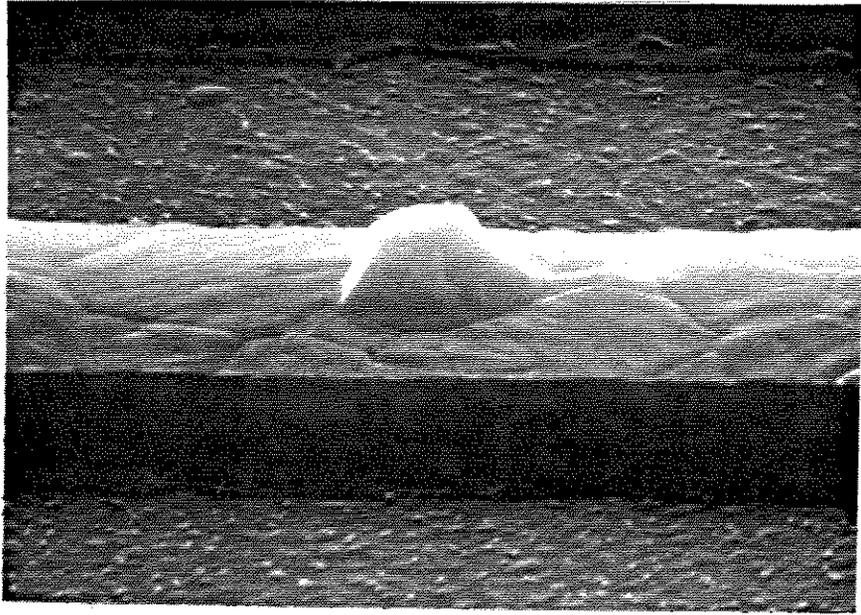


Mag. 13,500x, 60°

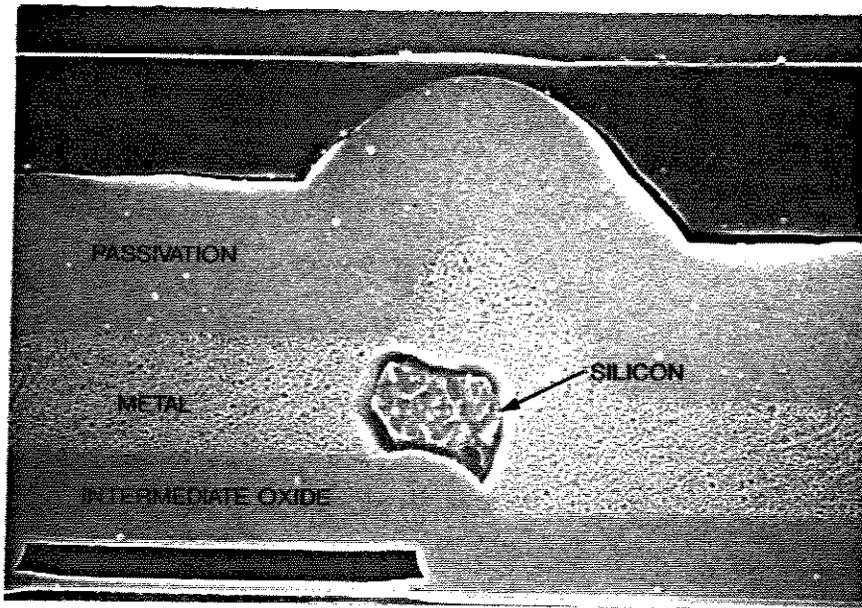


Mag. 8000x, 0°

Fig. 5.26) Vista mostrando buracos na metalização (Via SEM)



Mag. 12,500x, 60°



Mag. 15,500x

Fig. 5.27) Vista mostrando hillocks na metalização (Via SEM)

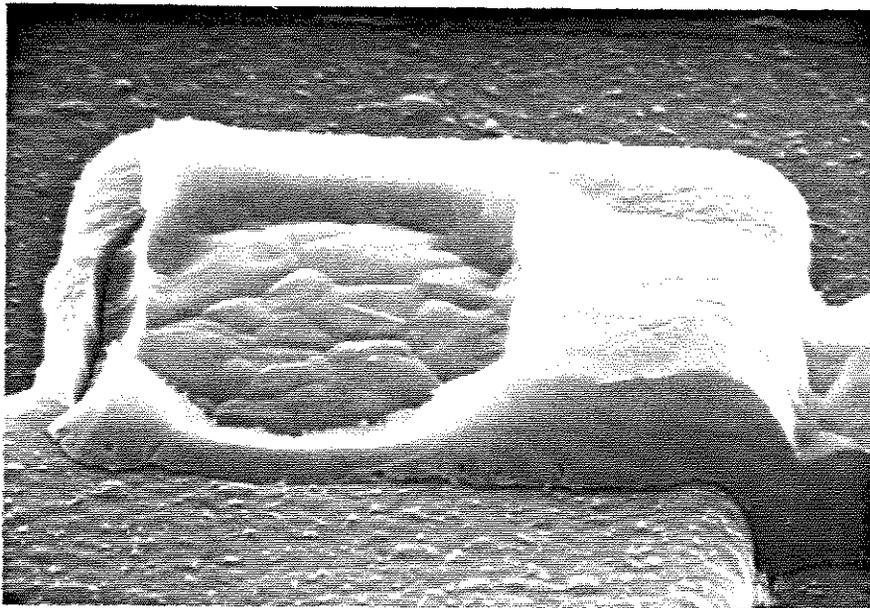
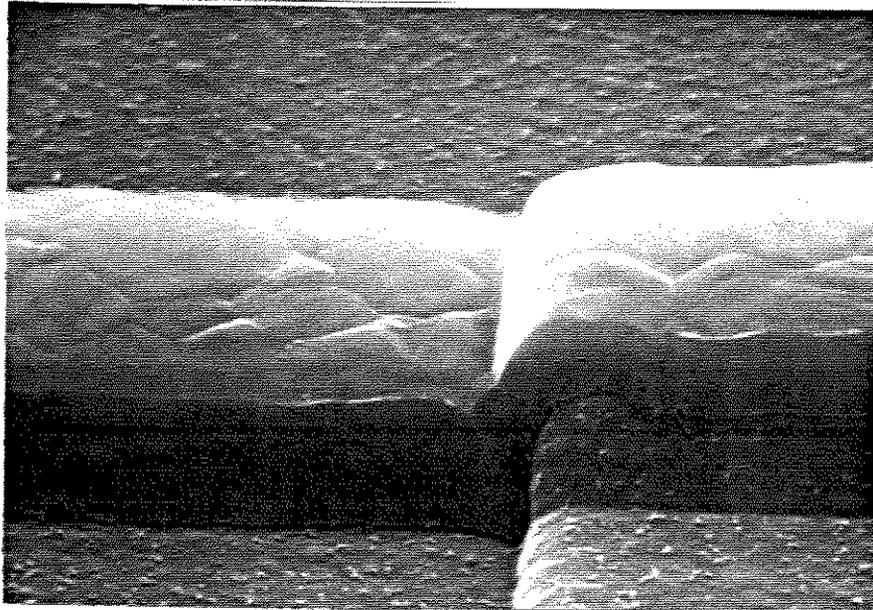
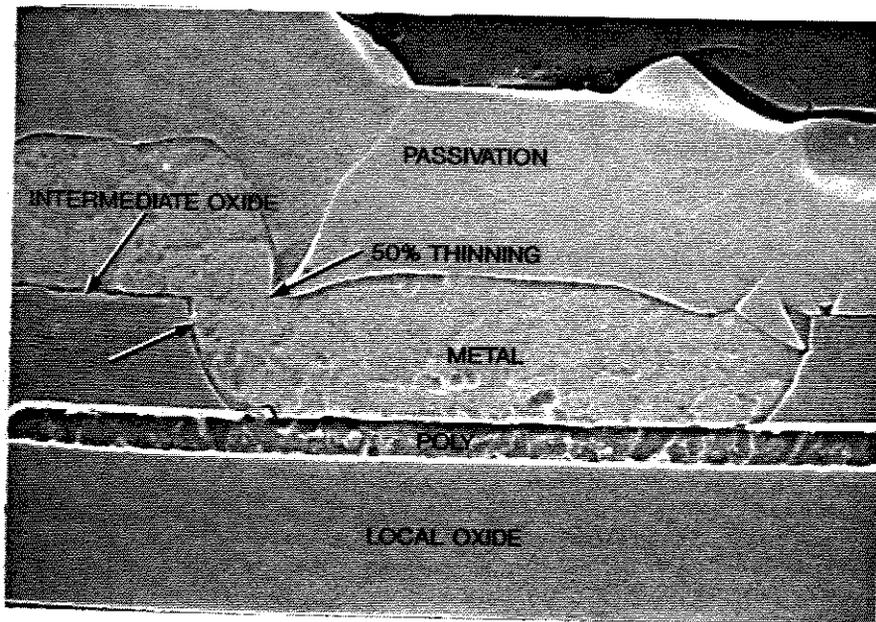
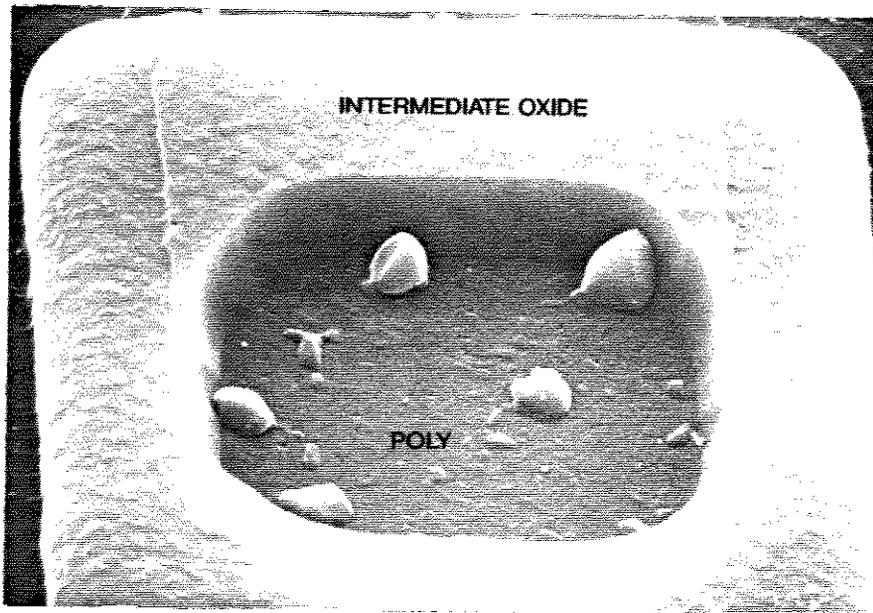


Fig. 5.28) Vista mostrando o afinamento da metalização  
Mag. 12000X, 60° (Via SEM)

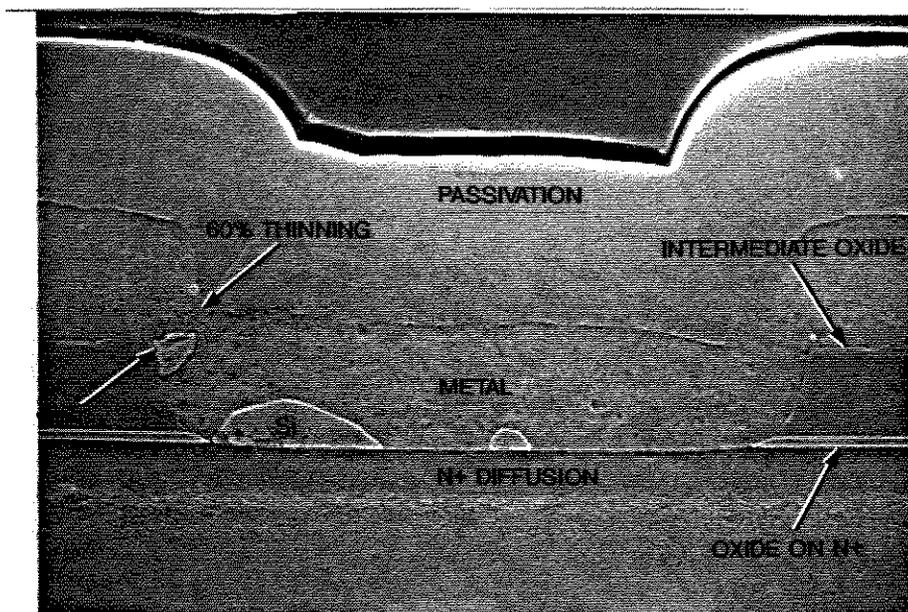


Mag. 17,500x

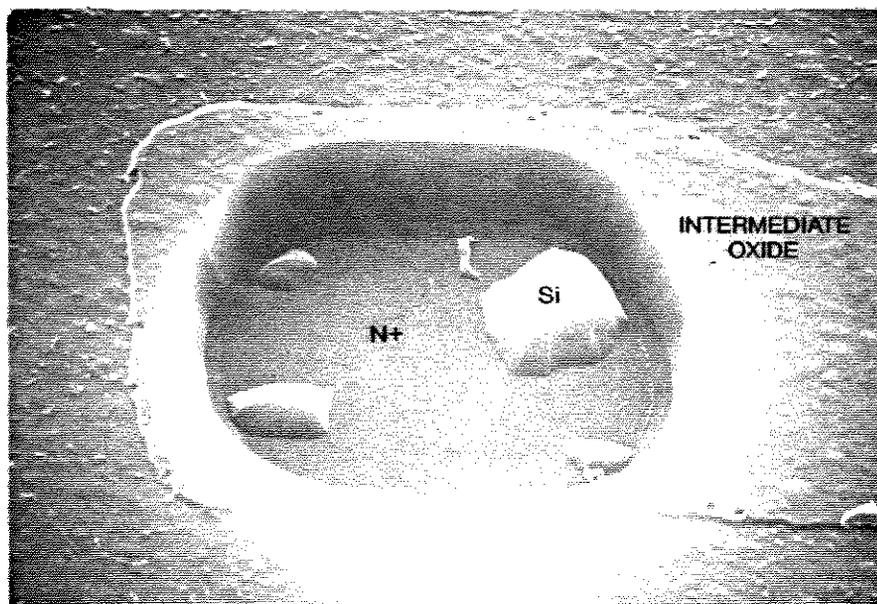


Mag. 12,500x, 45°

Fig. 5.29) Vista do contato metal/poly (Via SEM)

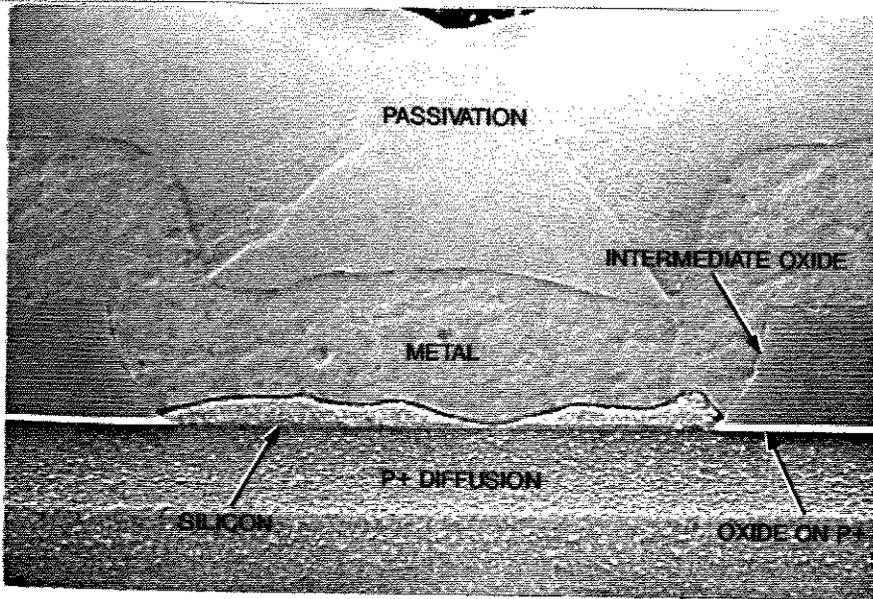


Mag. 15,500x

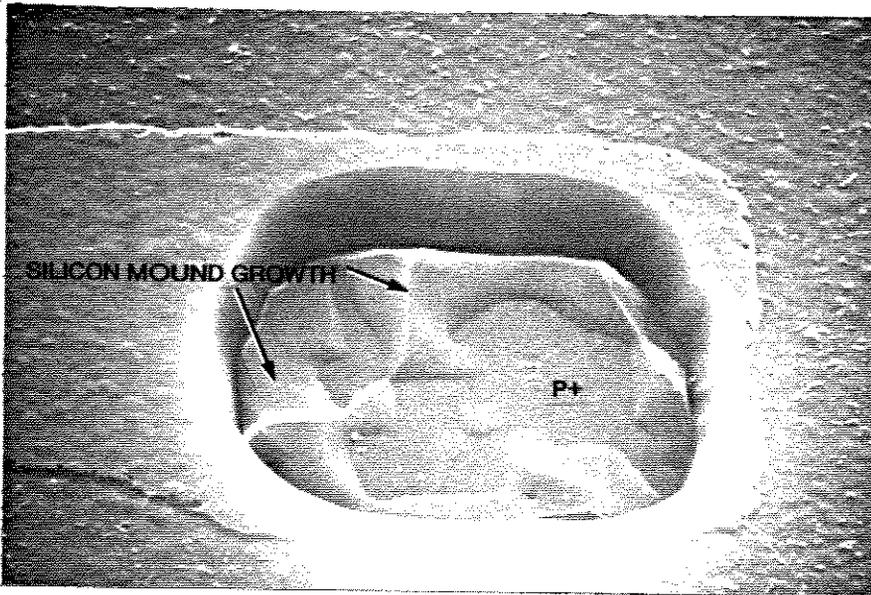


Mag. 12,500x, 45°

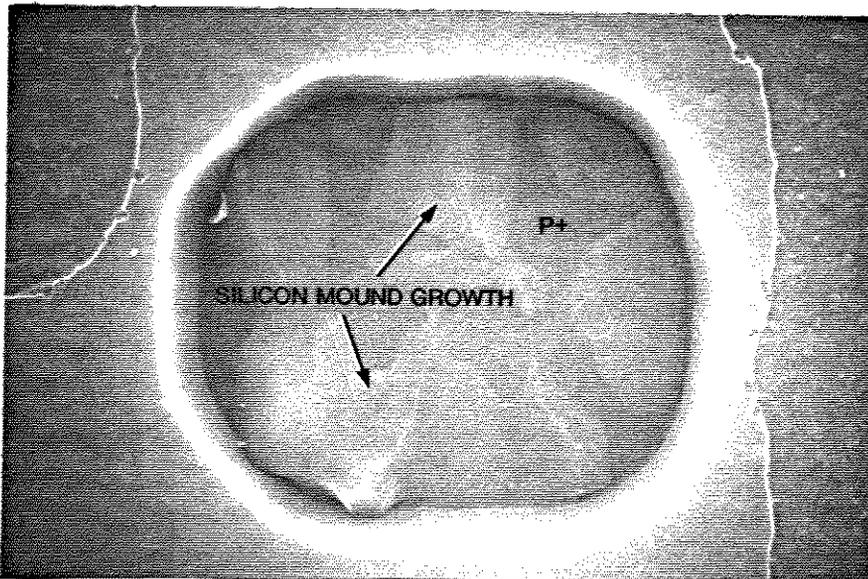
Fig. 5.30) Vista dos contatos de difusão metal/N<sup>+</sup> (Via SEM)



Mag. 20,000x

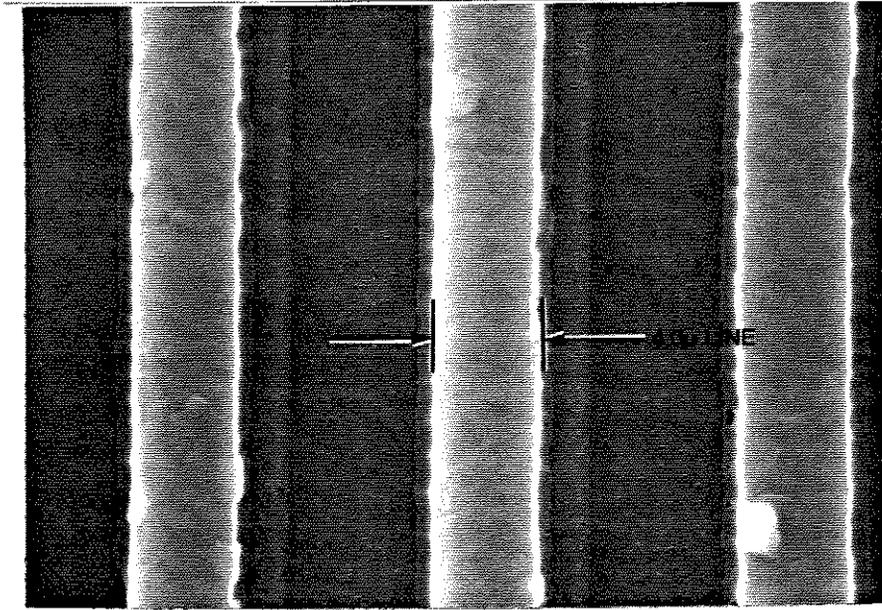


Mag. 12,500x, 45°

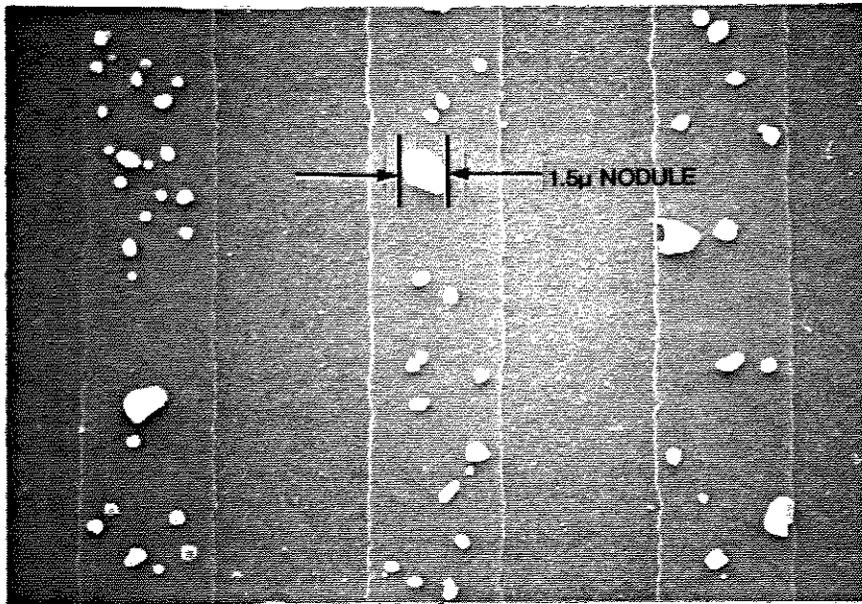


Mag. 13,000x, 0°

Fig. 5.31) Vista dos contatos de difusão metal/P<sup>+</sup> (Via SEM)

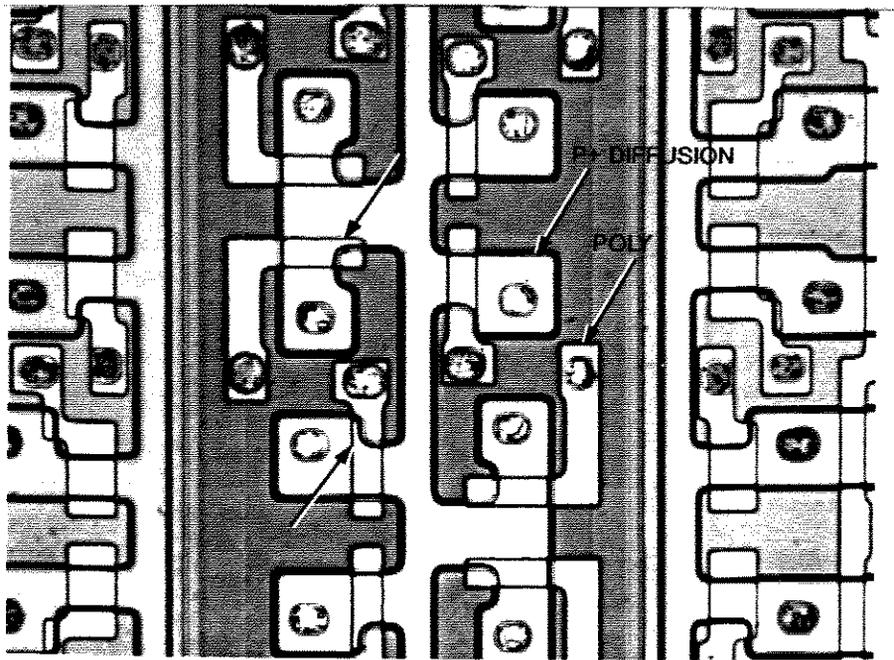


metal intact

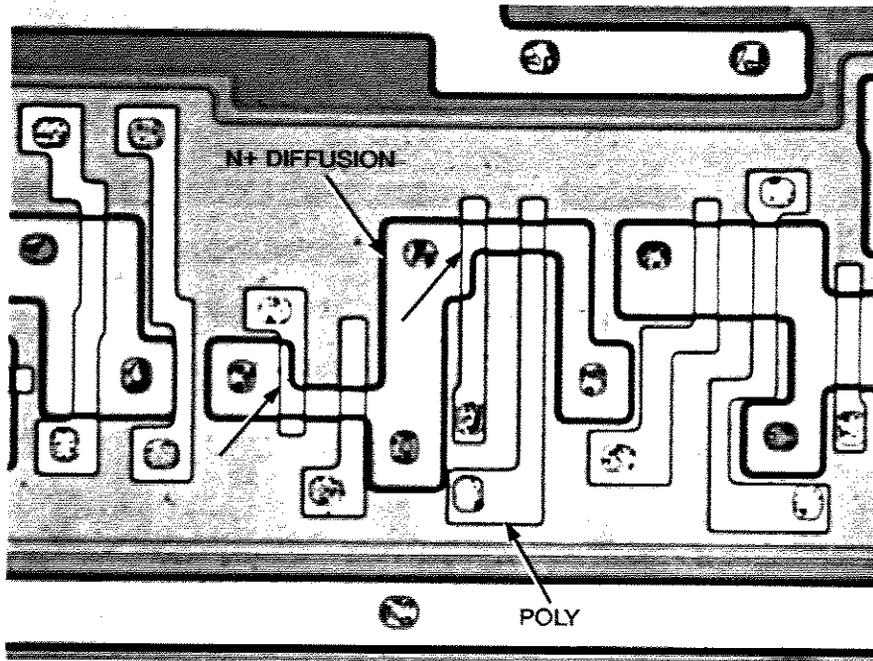


metal removed

Fig. 5.32) Vista das linhas de metal e nódulos de Si  
Mag. 4000X, 0° (Via SEM)



P-channel



N-channel

Fig. 5.33) Vista óptica mostrando a anomalia na porta de poli Si  
Mag. 800X

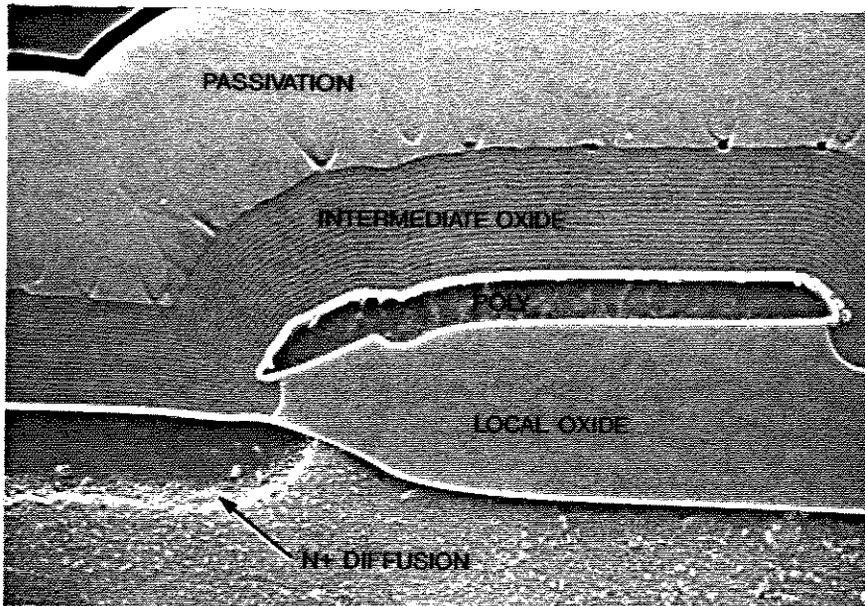
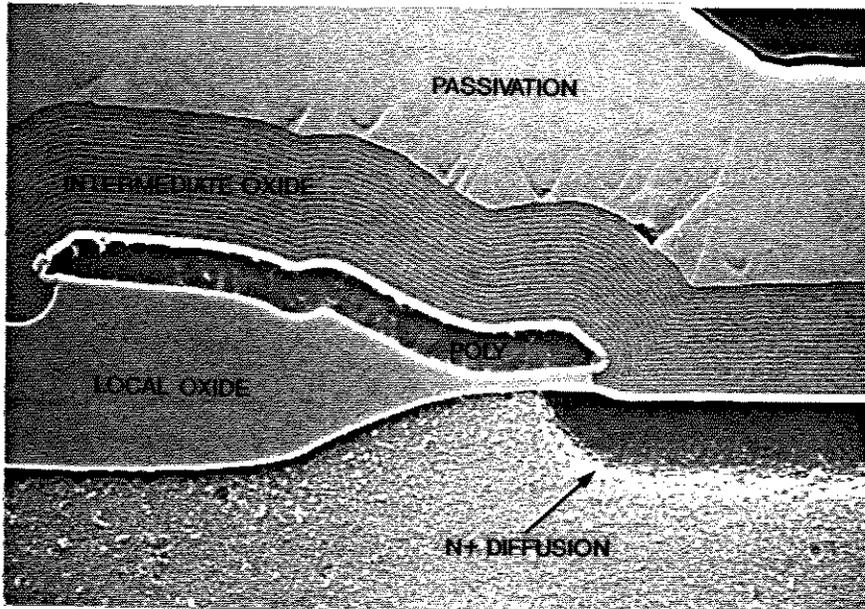
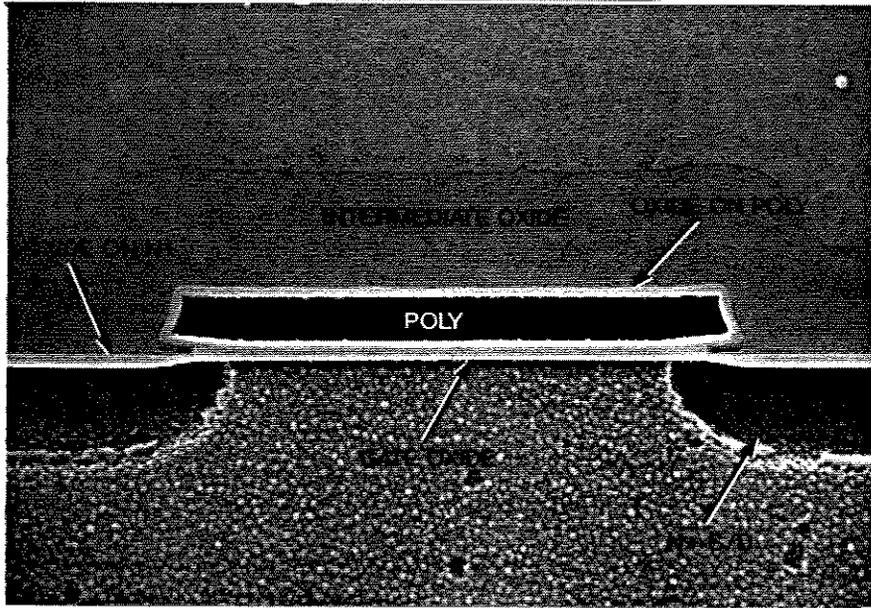
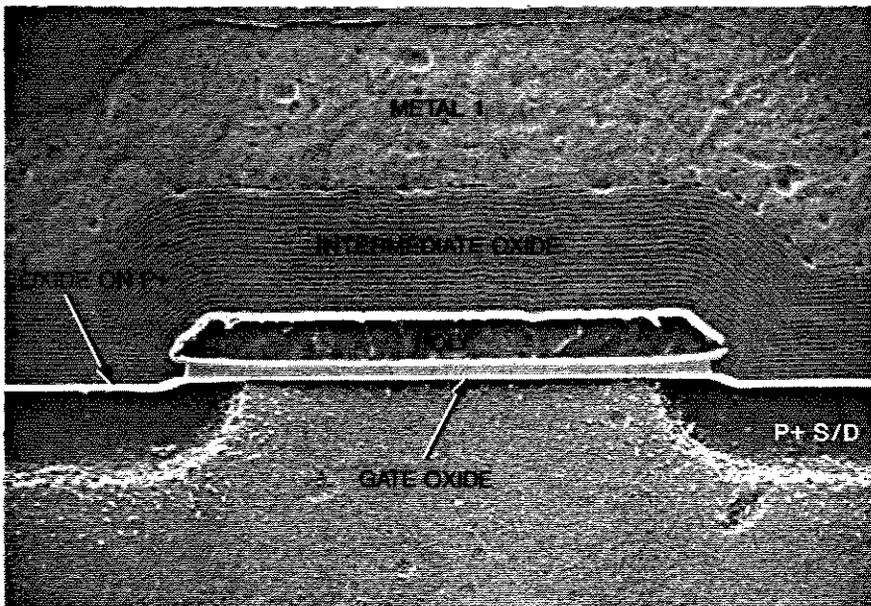


Fig. 5.34) Vista em secção da anomalia da porta. Mag. 20000X  
(Via SEM)

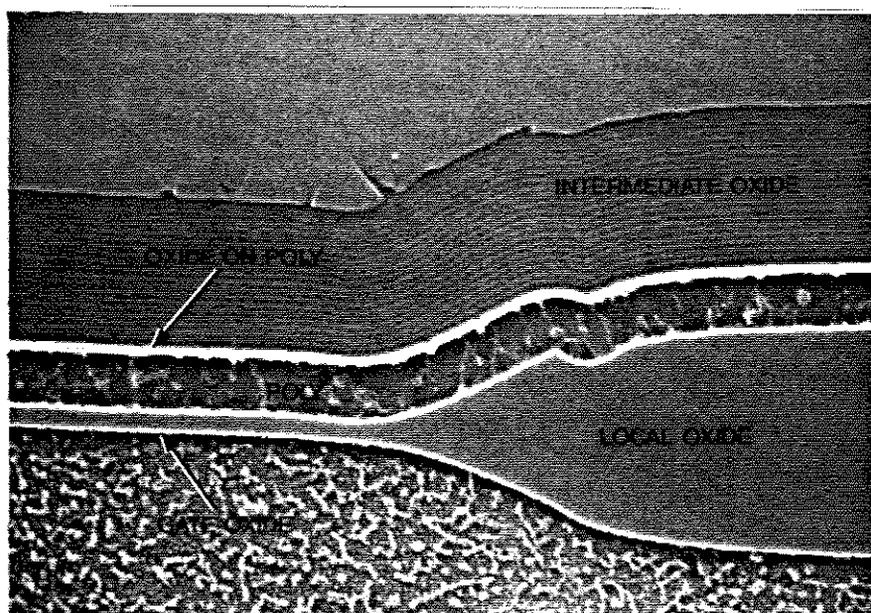


N-channel



P-channel

Fig. 5.35) Transistor MOS típico. Mag. 20000X (Via SEM)



Mag. 25,000x.

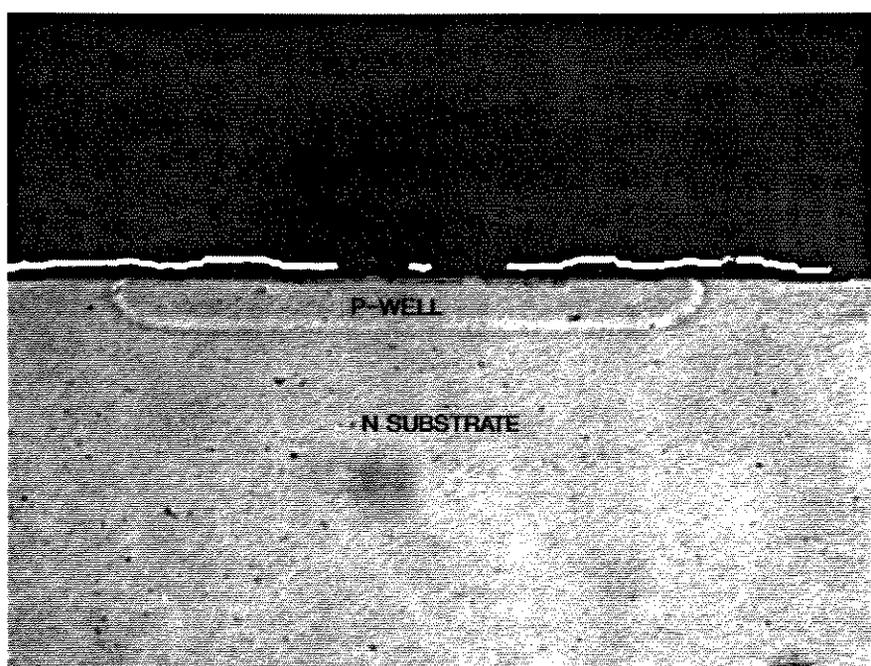
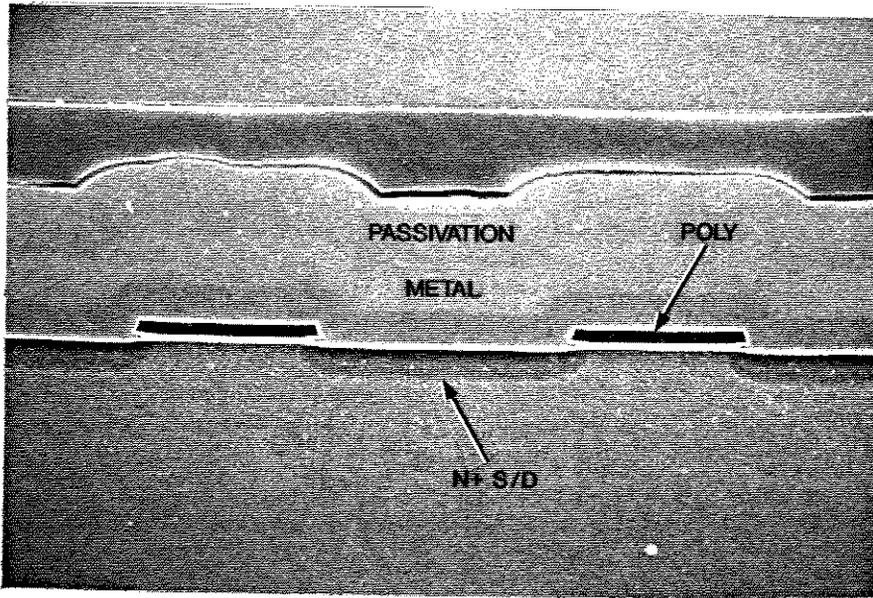
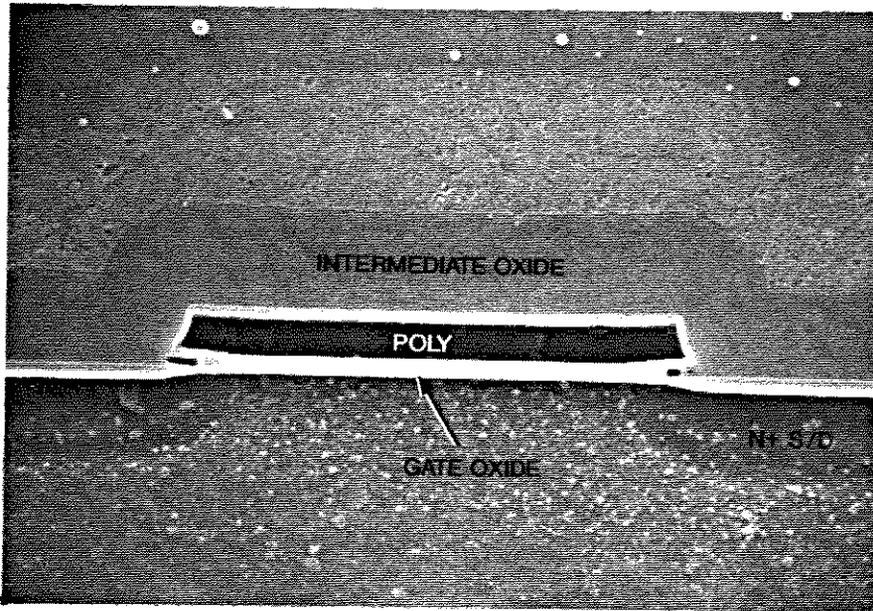


Fig. 5.36) Vista em secção do poço P. Mag. 800X  
Foto obtida Via microscópio óptico

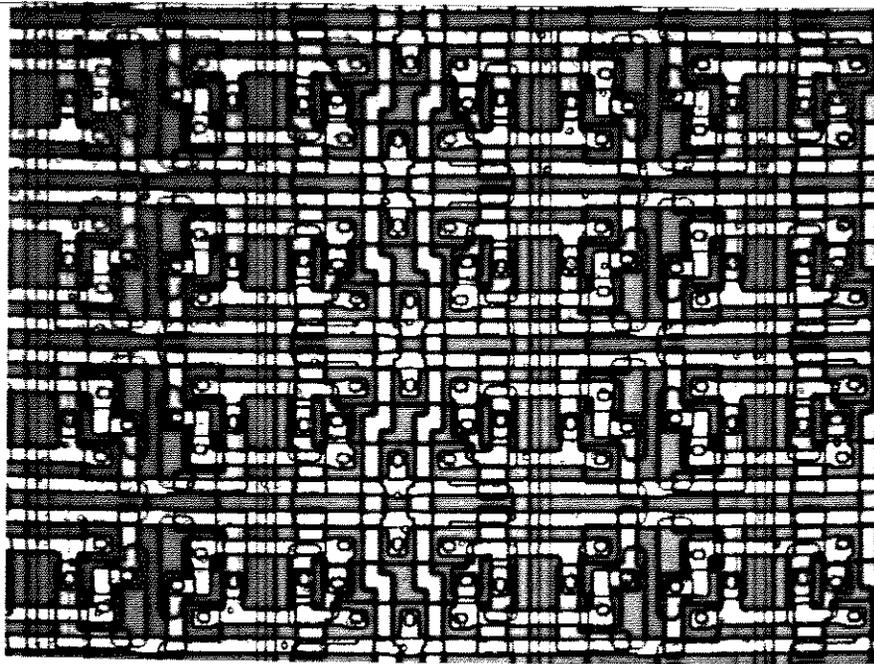


Mag. 6000x

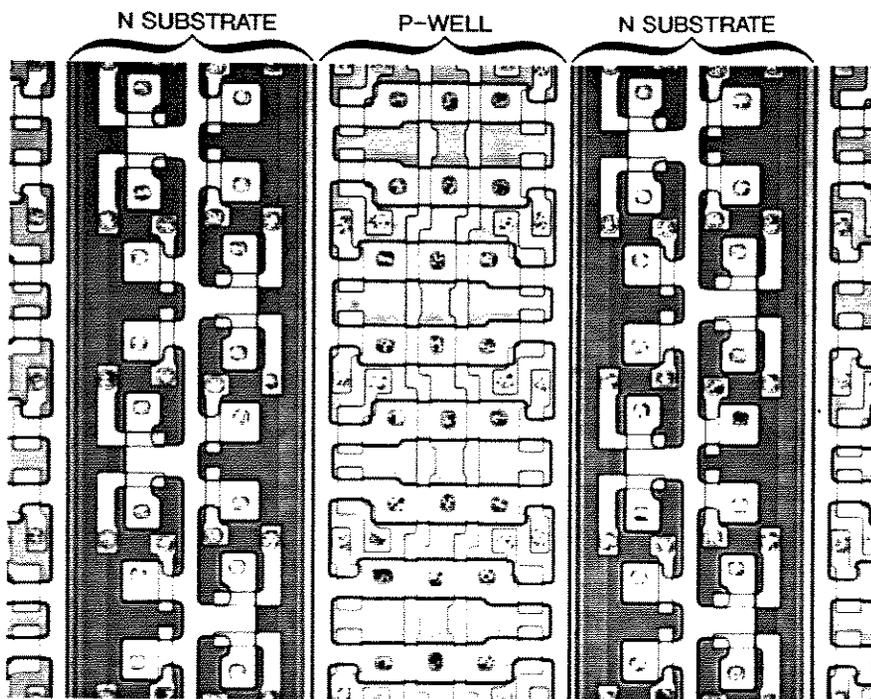


Mag. 17,500x

Fig. 5.37) Vista em secção da matriz de ROM (Via SEM)

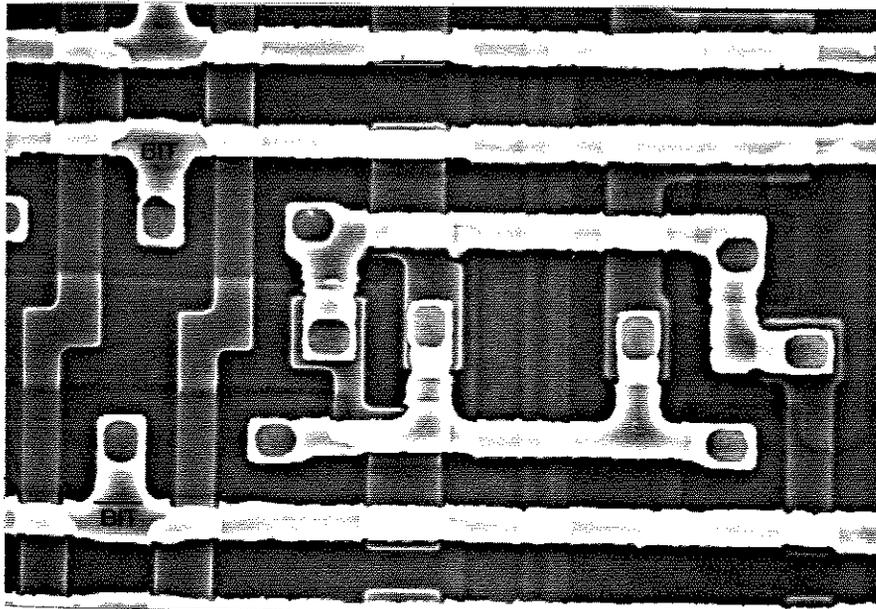


intact

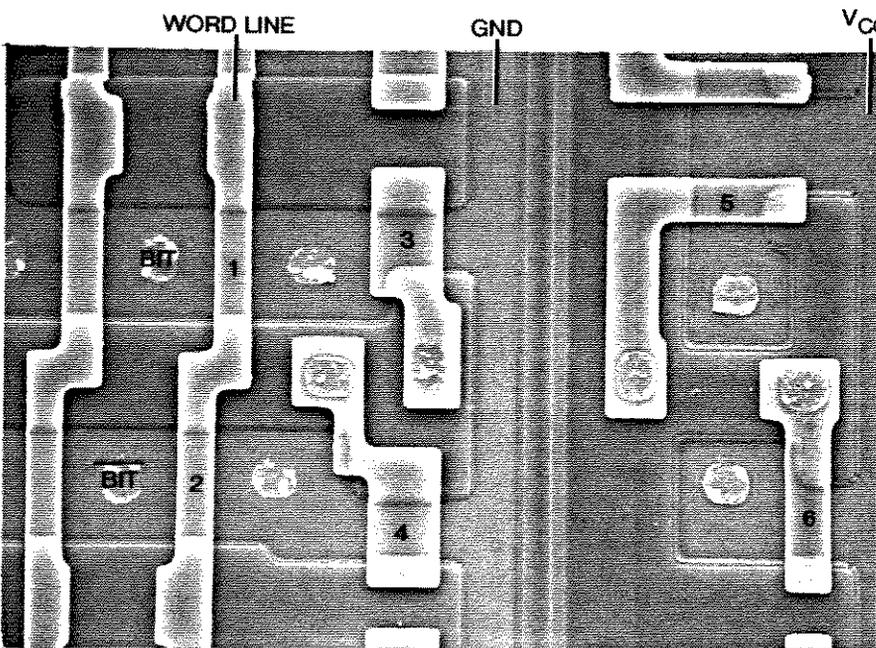


unlayered

Fig. 5.38) Vista óptica da rede de células SRAM CMOS. Mag. 400X



metal 1



unlayered

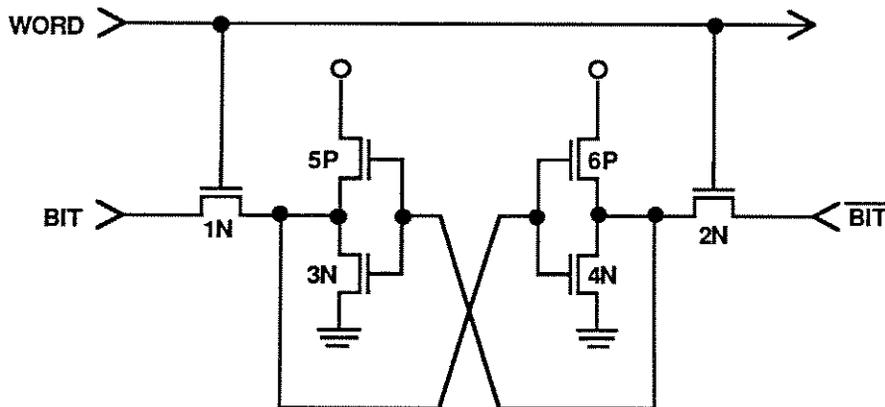


Fig. 5.39) Vista topológica da memória SRAM com seu esquemático.  
Mag. 1200X, 0° via SEM

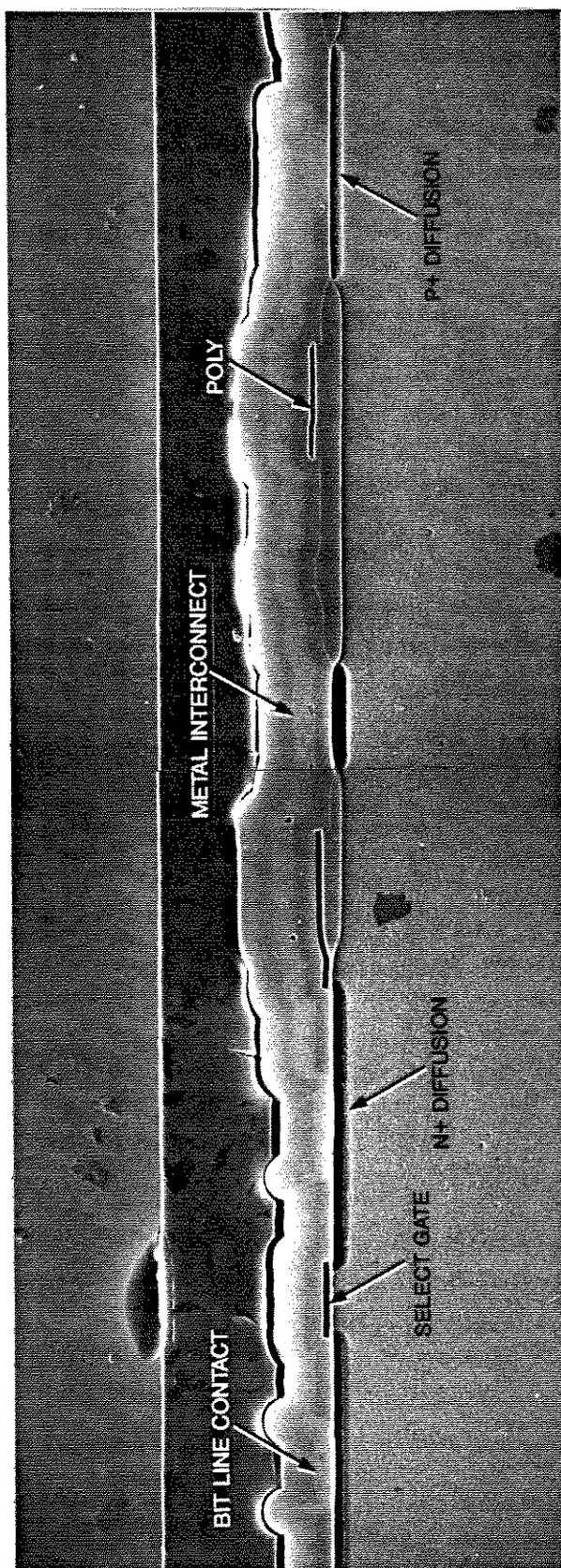


Fig. 5.40) Vista em secção da célula de SRAM (corte em paralelo às linhas de BITs). Mag. 3000X (Via SEM)

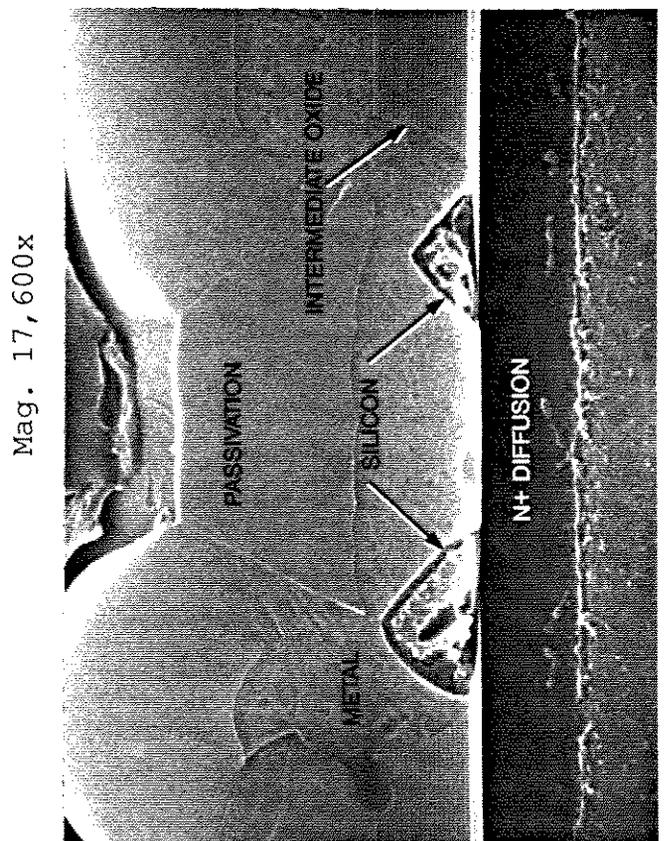
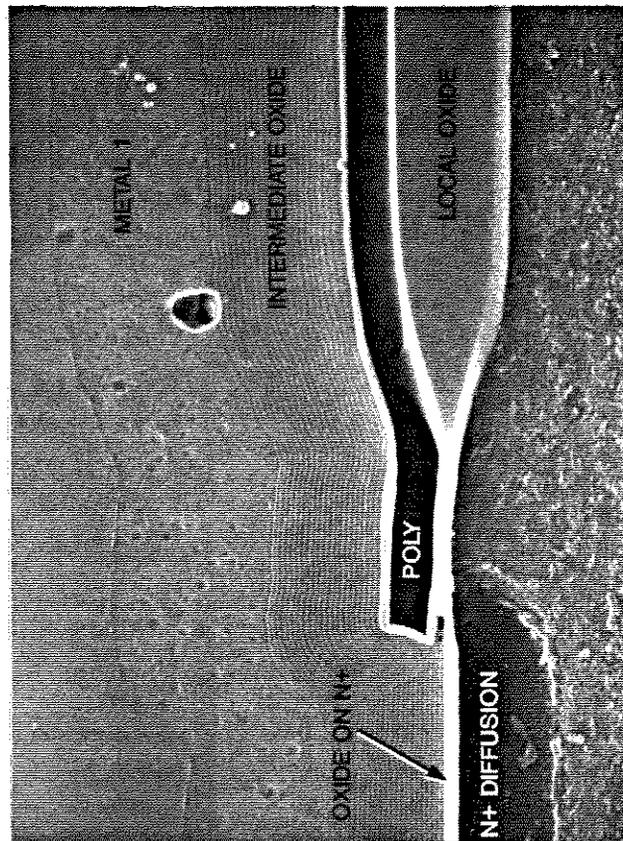
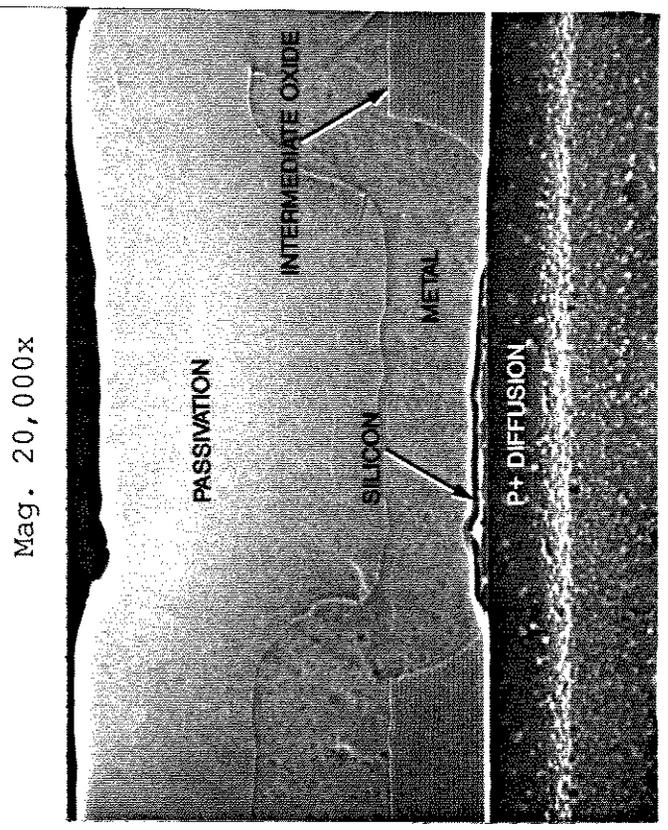
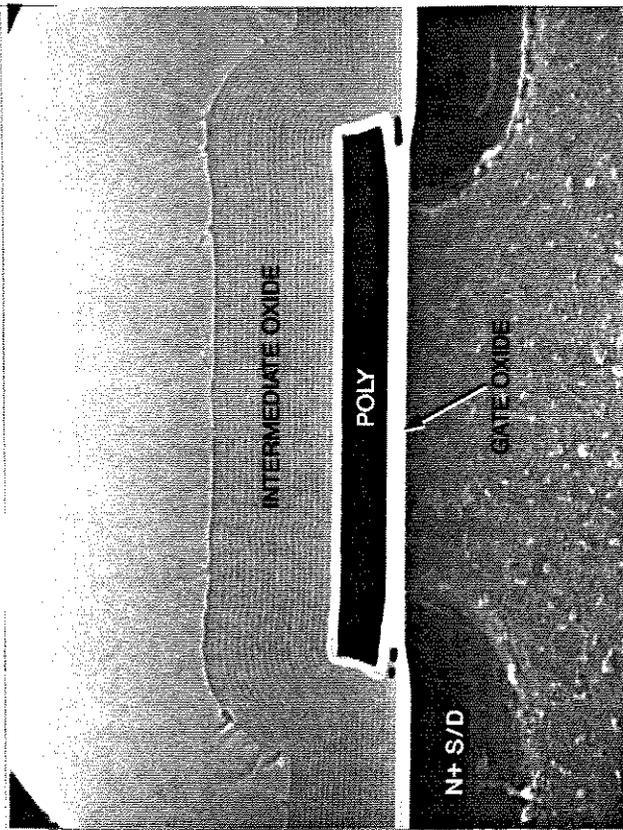


Fig. 5.41) Detalhes da secção da célula de SRAM (Via SEM)

### 5.3.5) ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 5.3.5.1) ASPECTOS DA MONTAGEM GERAL DO MÓDULO

- 1) A construção do módulo se mostrou normal sem nenhum problema mais grave.
- 2) A análise via raios-X mostrou solda residual abaixo do corpo do resistor, o que pode causar curto-circuito no mesmo. Apesar de não termos notado nenhum curto (Figs. 5.2 e 5.17)
- 3) A montagem da placa de circuito impresso se mostrou normal sem quebras ou delaminações.
- 4) As trilhas, furos metalizados e os conectores de borda estão bem desenhados e com formatos conformes.
- 5) De um modo geral, a montagem dos diodos se mostrou boa. Entretanto, notou-se uma exposição da camada de prata entre a placa de circuito impresso e os pinos do diodo, o que pode causar um crescimento dendrítico de prata (Fig. 5.10).
- 6) Notou-se uma boa qualidade no formato da bola de ouro e também na solda eutética dos diodos.

#### 5.3.5.2) MONTAGEM DO CONTROLADOR/DRIVER PLCC

- 1) A mistura do die-attach mostrou ser pobre, ou seja, 90% de epoxy e somente 10% de prata. A prata serve como conexão elétrica entre o DIE e substrato. Entretanto, não se observou nenhuma conexão de aterramento no DIE, não precisando de conexão elétrica. (Fig. 5.20).
- 2) O formato do fio de ouro e da bola de ouro se mostrou normal.
- 3) O teste de tração do fio de ouro (wire-pull) foi efetuado com resultados excelentes, o que mostrou uma formação intermetálica muito boa entre a bola e a área da solda. A média da força medida foi de 10g.

#### 5.3.5.3) PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA PASTILHA (DIE)

- 1) Falhas nas trilhas de metalização de até 35% da largura e até 100% da espessura (Fig. 5.26).

- 2) Notaram-se grandes hillocks na metalização de alumínio. Estes foram observados principalmente nas linhas de barramento e não houve penetração na cobertura de passivação (Fig. 5.27).
- 3) Afinamento da metalização de até 60% nas bordas dos contatos (Figs. 5.28 e 5.29). Pode ser devido à formação muito abrupta da borda.
- 4) Crescimento de Si nos contatos P<sup>+</sup>, ocupando até 80% da área (Fig. 5.31). Este crescimento pode aumentar a resistência de contato.
- 5) Após a remoção da metalização, observamos nódulos de si ocupando até 35% da linha. Nódulos com mais de 50% da linha podem aumentar a susceptibilidade à eletromigração (Fig. 5.32).
- 6) Anormalidade nos padrões de transferência da porta de Si Poli (Figs. 5.33 e 5.34). Algumas portas de Si tinham formatos não-usuais e parecem que estão desalinhados. Entretanto, uma observação mais detalhada mostra que este desalinhamento tem mais do que uma direção, o que descarta a possibilidade de erro no alinhamento da máscara. Observou-se variações nas larguras e bordas das portas, resultando em sobreposição das difusões. Isto aumenta a área da porta e conseqüentemente a capacitância, podendo resultar em problemas na operação do transistor.

A análise de construção nos mostrou que de uma maneira geral a montagem do módulo é excelente e de boa qualidade. O processo de solda dos componentes na placa de circuito impresso não apresentou problemas. A qualidade do encapsulamento do circuito integrado controlador/driver de PLCC é excelente. O mesmo se pode dizer em relação aos resistores e diodos. A montagem do cristal líquido também pode ser considerado de boa qualidade. O único ponto de preocupação foi em relação ao processamento da pastilha do circuito integrado PLCC, onde foram encontrados vários problemas que podem afetar a confiabilidade do módulo. Quanto a estes problemas o fornecedor deveria revisar o seu processo de fabricação. Esta análise de construção nos alertou para que os testes de qualificação apliquem um esforço maior na análise da pastilha do circuito integrado, ou seja, nos deu um direcionamento para onde deveríamos concentrar os testes de confiabilidade.

#### 5.4) TESTES EXECUTADOS E RESULTADOS

Os seguintes testes foram executados:

a) Caracterização paramétrica

- Inspeção visual
- Teste funcional
- Testes opto-elétricos
- Teste de ESD (descarga eletrostática)

b) Testes mecânicos

- Impacto ao choque
- vibração

c) Testes de vida

-HTB - Teste executado a 50°C na estufa, por 2000 horas e alimentação de +5,0V. Foi montado uma giga de teste que faz com que os caracteres do display fiquem mostrando todos os caracteres disponíveis ciclicamente durante o teste.

-T&H - Teste executado a 40°C e umidade relativa de 90% na câmara, por 2000 horas e alimentação de +5,0V. Foi montado uma giga de testes que fazia com que os caracteres ficassem estáticos, ou seja, todos os eletrodos dos pontos ficaram com uma diferença de potencial aplicados.

-T/C - Teste executado por 2000 horas e 2000 ciclos. Cada ciclo corresponde a:

Temperatura(°C)	Tempo (min)
-20	25
+25	5
+70	25
+25	5

-HTB altamente acelerado - 125°C a 2000 horas e tensão de alimentação de +5,5V. O objetivo deste teste foi testar o circuito integrado controlador/driver nas suas máximas condições permitidas, uma vez que no teste de HTB a condição limitante foi a visor de cristal líquido que não aguenta as máximas condições de um CI. As leituras intermediárias foram feitas substituindo o cristal líquido degradado devido às condições de alto esforço por amostras novas.

O restante dos testes executados foram conforme as normas militares e especificações internas.

Sendo que o critério de falha segue conforme os testes paramétricos (elétricos) constantes no DATASHEET do fornecedor.

A tabela abaixo mostra os resultados dos testes e o número de amostras utilizadas.

Tabela 5.1) Tabela dos resultados da qualificação

descrição dos testes	amostras	falhas
análise de construção	18	-
ESD	5	0
vibração	5	0
impacto ao choque	5	0
HTB	40+10*	0
T&H	60+10*	0
T/C	22+10*	0
HTB altamente acelerado	10	0

\*) Amostras utilizadas para estudo da degradação dos parâmetros eletro-ópticos feito no IM/CTI.

## 5.5) ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DOS PARÂMETROS ELETRO-ÓPTICOS

### 5.5.1) RESUMO

Este item descreve o trabalho realizado no laboratório de mostradores de informação (LMI) e no laboratório de análise e caracterização de microestruturas (LACAM) do IM/CTI.

As atividades realizadas neste trabalho consistiram em caracterizar eletro-ópticamente mostradores de cristal líquido comerciais a pedido do laboratório de confiabilidade, que desejava um parecer técnico sobre o desempenho eletro-óptico desses mostradores a partir de ensaios a temperatura elevada (ensaio de vida acelerado).

### 5.5.2) INTRODUÇÃO

Foi caracterizado um lote de 30 LCDs nemático torcidos transreflexivos, matriciais de 8x7 pontos. Os displays estão montados em módulos completos com os circuitos de endereçamento multiplexados operados a taxa de 1:8. Estes módulos incluem iluminadores trazeiros consistindo de uma placa difusora translúcida iluminada por 8 diodos EL verdes. As 30 amostras, numeradas de 1 a 30, eram semelhantes em suas características dimensionais e funcionais, exceto no que se refere ao lóbulo preferencial da visada. Dispondo-se de 6 amostras para observação a 12 horas de visada (amostras 1, 2, 11, 12, 21, 22), enquanto as demais devem ser preferencialmente observadas às 6 horas [1].

Na caracterização do desempenho eletro-óptico de mostradores de cristal líquido nemático-torcidos é importante conhecermos suas propriedades quanto à transmitância à luz e seu contraste entre claros e escuros exibidos, ambos em função do ângulo de observação. Além disto, é importante seu comportamento dinâmico expresso por seu tempo de resposta óptica à excitação elétrica. Estas três características são expressas nos conceitos definidos a seguir [6,8]:

**TRANSMITÂNCIA AO VISÍVEL EM FUNÇÃO DA TENSÃO APLICADA:** é a razão entre a intensidade de luz que atravessa o mostrador pela intensidade incidente, para um dado comprimento de onda. Num mostrador com polarizadores cruzados a transmitância assume um valor máximo quando a tensão aplicada ao mostrador é nula. A transmitância tem um comportamento característico com a tensão aplicada, definindo-se a tensão de limiar ( $V_{th}$ ) e a tensão de saturação ( $V_{sat}$ ) como sendo as tensões em que a transmitância atinge 90% e 10% respectivamente do seu valor máximo. A transmitância varia também com o ângulo de observação, tipo de cristal líquido, largura da camada de cristal líquido e tipo de polarizador.

**RAZÃO DE CONTRASTE EM FUNÇÃO DO ÂNGULO DE VISADA:** Contraste é a razão entre a intensidade luminosa que atravessa uma região clara do mostrador, pela intensidade na mesma região, quando escura. A razão de contraste varia sensivelmente com a tensão

aplicada e com a posição angular do observador, sendo expressa em:

$$Cr(\theta, \phi) = I_{off}(\theta, \phi) / I_{on}(\theta, \phi)$$

onde  $\theta$  e  $\phi$  são respectivamente os ângulos zenital e azimutal definidos na figura 5.42.

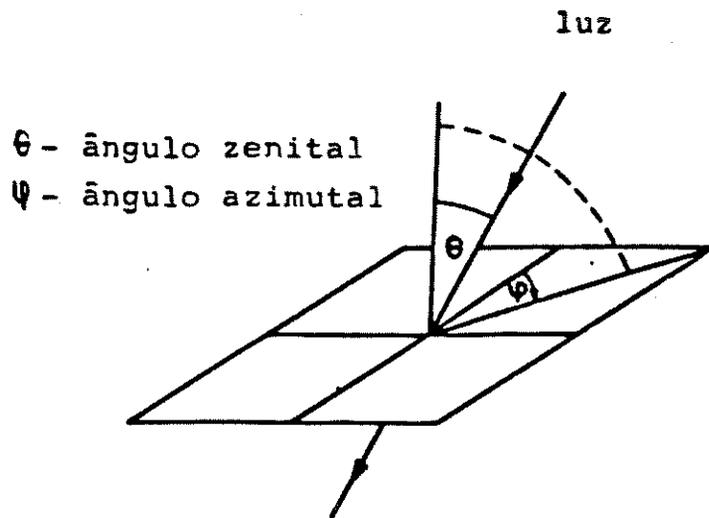


Fig. 5.42) Definição dos ângulos de visada  $\theta$  e  $\phi$

**TEMPO DE RESPOSTA ELETRO-ÓPTICA:** o comportamento dinâmico de um mostrador de cristal líquido é caracterizado por seu tempo de resposta ao campo elétrico aplicado. Para se fazer esta medida o campo elétrico é aplicado através de um pulso de tensão com transição em degrau abrupto. O tempo de atraso ( $t_d$ ) é o intervalo de tempo entre o início do pulso aplicado ao mostrador e sua resposta com transmitância de 90%, sempre com polarizadores cruzados. Já o tempo de descida ( $t_r$ ) é o tempo necessário para que a transmitância vá de 90% a 10% de seu valor máximo, nas mesmas condições dos polarizadores, enquanto que o tempo de subida ( $t_r$ ) é o tempo necessário para que a transmissão suba de 10% a 90% do seu valor máximo. Assim, o tempo de acionamento ( $t_{on}$ ) é soma de  $t_d+t_r$ . Já o tempo de desacionamento ( $t_{off}$ ) é definido como o intervalo de tempo para que o mostrador vá de uma transmitância de 0 a 90%, nas mesmas condições dos polarizadores.

Essas três características são muito importantes na análise

quantitativa do desempenho de displays , determinando suas condições de operação. Por exemplo, a curva de transmitância determina a faixa de tensões de operação (entre a tensão de limiar e de saturação), bem como a sua inclinação determina a taxa permitida para a multiplexagem em tensão, necessária para o endereçamento matricial. Do mesmo modo a curva de contraste determina os limites dos ângulos de visada adequados para a melhor observação. Finalmente o tempo de subida determina os limites de resposta na exibição de sinais rápidos. O estudo do comportamento eletro-óptico deve ser completado com o estudo da estabilidade das três grandezas mencionadas em função do tempo e para diferentes condições de temperatura, umidade na operação e na armazenagem, visando detetar sua confiabilidade na exibição da informação ao longo do tempo.

As 30 amostras foram submetidas aos ensaios HTB, T&H e T/C, sendo 10 amostras para cada tipo de teste. O tempo de teste foi de 2000 horas e as medidas de transmitância, razão de contraste e tempo de resposta foram medidas a intervalos de tempo de 0, 500, 1000, 1500 e 2000 horas. Procuramos assim, acompanhar eventuais alterações nas características eletro-ópticas.

### 5.5.3) MÉTODOS EXPERIMENTAIS

A transmitância óptica do display é determinada incidindo-se perpendicularmente à sua superfície posterior um feixe de luz monocromático, de  $1\text{mm}^2$ , oriundo de um laser de He-Ne modelo SNB16 da OPTO, de 4mW de potência. O display foi previamente desmontado de seu módulo de forma a permitir a iluminação transmissiva, bem como o acesso a cada um de seus pixels, através de um gerador externo de tensão e de conectores adequados. Os polarizadores são mantidos na sua posição original sobre os displays, ou seja, cruzados. A focalização do feixe sobre um pixel é efetuada utilizando-se uma lente convergente de distância focal de 12cm, colocada entre o laser e a amostra, de modo a reduzir a região iluminada sobre o pixel para menos do que  $1\text{mm}^2$ .

O feixe luminoso que atravessa o display é detetado num sensor a fotodiodo PIN de silício, da EG&G, modelo SGD100A, cuja

área de detecção é de cerca de 3mm de diâmetro, o que exige a focalização da luz transmitida, por uma lente convergente colocada entre ele e a amostra. O detetor opera com um amplificador operacional, LF411, fornecendo à sua saída sinais DC proporcionais à intensidade luminosa incidente no fotodiodo. A amplitude do sinal é medida num multímetro HP, modelo 3478C com barramento GPIB, de modo a permitir a aquisição dos dados por um microcomputador PC-XT, através de uma interface IEEE-488 (GPIB) adequada. Como a medida é efetuada em DC, o sistema laser/amostra/detetor deve estar em ambiente escuro. O pixel que está sendo medido é, por sua vez, alimentado por um gerador de funções HP, modelo 8116A, que aplica um sinal alternado quadrado entre 0 e 5V, em degraus de 0,1V, na frequência de 100Hz.

O laser, a amostra e o sensor estão montados num banco óptico de forma a garantir o alinhamento durante as medidas e a repetição da posição da amostra, ao longo das medidas efetuadas entre os ensaios com temperatura.

A medida de transmitância, sob incidência normal, é efetuada variando-se a tensão RMS aplicada ao pixel, obtendo-se assim a curva de transmitância em função da tensão, na qual se determinam as tensões de limiar e de saturação já definidas. Também a inclinação da curva TxV pode ser determinada.

Utilizando-se a mesma montagem experimental descrita acima, procedeu-se a medida do tempo de resposta óptica dos displays ao campo elétrico aplicado sobre cada pixel. O sinal elétrico aplicado ao pixel é fornecido pelo mesmo gerador descrito acima, sendo modulado em AM através de um outro gerador ETB1000A, de forma a se obter um trem abrupto de pulsos quadrados, de 3V de amplitude, na mesma frequência de 100Hz. A largura do pulso de modulação é ajustável, trabalhando-se entre 80ms e 100ms.

O sinal aplicado ao mostrador e o sinal elétrico proveniente do detetor são observados simultaneamente num osciloscópio digital Tektronix 1100A, medindo-se os tempos de acionamento ( $t_{on}$ ) e desacionamento ( $t_{off}$ ), pelo atraso entre eles. Os tempos de atraso ( $t_d$ ), de subida ( $t_r$ ) e de queda ( $t_f$ ) são determinados a partir da medida da curva ponto a ponto, obtida através da digitalização. As formas de onda são digitalizadas na memória do osciloscópio e

armazenadas em disquete para serem analisadas posteriormente.

O arranjo experimental utilizado para as medidas de transmitância óptica e tempo de resposta é mostrado esquematicamente na figura 5.43.

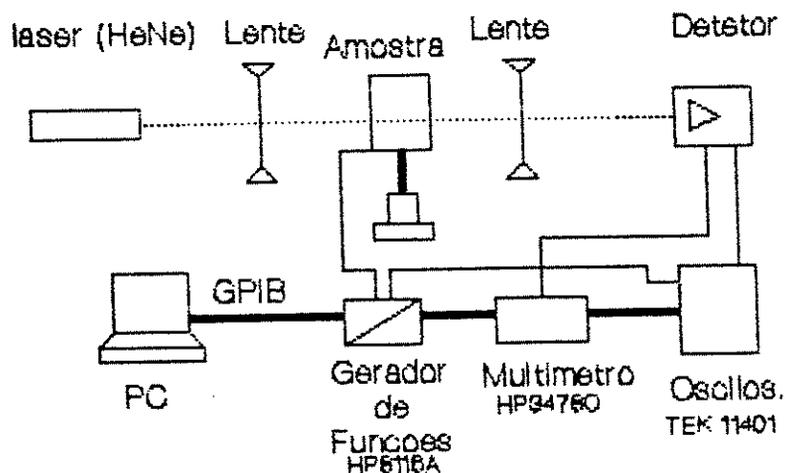


Fig. 5.43) Arranjo experimental

A medida da razão de contraste em função do ângulo de visada, é feita medindo-se a razão entre a intensidade luminosa que atravessa o segmento, quando claro, pela intensidade no mesmo segmento, quando escuro, sendo que, esta razão é indexada a cada grau de azimute e zênite medido. Para tanto, é necessário posicionar a amostra em diferentes ângulos de azimute e zênite através de um dispositivo mecânico medidor de ângulos chamado goniômetro na figura 5.44. Este goniômetro é formado por dois círculos perpendiculares entre si centrados em torno de um eixo comum, montados sobre uma estrutura de alumínio. O círculo maior, corresponde ao azimute, tem um rolamento de diâmetro interno de 17cm e está montado verticalmente, enquanto o menor, corresponde ao zênite e está montado horizontalmente tendo um outro rolamento de 5cm de diâmetro interno. Os dois círculos possuem em suas bordas pequenos orifícios transversais de 3mm de diâmetro,

espaçados de dez em dez graus para o azimute e de cinco em cinco graus para o zênite, cuja função é servir de graduação angular para os detetores ópticos. Os detetores ópticos do azimute e zênite são compostos de um emissor de luz (LED vermelho) e um receptor (foto-transistor) responsáveis pelo correto posicionamento angular do goniômetro. No círculo maior estão montados, em sua parte inferior, três pinos de fixação, nos quais está colocado um outro círculo que serve de base do suporte da amostra em teste. A amostra é presa por quatro parafusos em um outro suporte que está centrado no círculo maior através de um pino que sai do centro do círculo inferior de suporte. A troca das amostras é feita de maneira simples retirando-se os parafusos dos pinos trazeiros do goniômetro, o círculo de suporte é puxado para fora do goniômetro e assim, a amostra pode ser retirada de seu encaixe central. O círculo menor (zênite) tem um suporte em forma de L e em sua extremidade oposta de sua fixação ao círculo menor estão colocados o detetor e seu circuito, que por sua vez também estão centrados em relação ao eixo comum do goniômetro e ao centro do círculo vertical (azimute). Os dois círculos estão montados sobre uma estrutura de alumínio em forma de T invertido, quando observados lateralmente. Essa estrutura possui em sua base horizontal três "pés" que fixam o goniômetro sobre o banco óptico através de parafusos. O goniômetro é movimentado por dois motores de passo, um colocado na base vertical que faz o movimento no azimute ( $\phi$ ) e outro na base horizontal fazendo o movimento no zênite ( $\theta$ ). Repetia-se a medida para os diferentes ângulos azimutais, de 0 a 360 graus, com incrementos de dez graus e ângulos de visada (zênite) de 15, 30 e 45 graus para cada amostra.

O módulo do mostrador era colocado completo (sem retirar o display) no suporte de amostras do goniômetro. O feixe luminoso que atravessa o display proveniente dos iluminadores trazeiros atravessa pelo mostrador sendo detetado num sensor a fotodiodo PIN de silício do mesmo modo que o sistema detetor já descrito.

O controle de posicionamento e movimento dos motores é feito por um microcomputador PC-XT. O mesmo possui uma interface baseada no CI 8255 que é responsável pela aquisição dos sinais digitais gerados quando a luz do LED passa por um dos pequenos orifícios de

posicionamento angular e atinge o foto-transistor, produzindo então, um sinal elétrico no foto-transistor que é lido pelo PC-XT através da interface. Nesse momento a interface deteta que o goniômetro posicionado em um determinado ângulo e o software do sistema de medida toma a decisão adequada sobre o controle e movimentação coordenado dos dois motores. A interface também possui um módulo de potência que aplica a seqüência certa de sinais elétricos aos motores, permitindo seu correto movimento.

O pixel sob medida é alimentado pelo módulo do mostrador que recebe um sinal digital de controle do computador através da interface 8255, esse sinal promove o acionamento de todos os pixels de todos os caracteres ao mesmo tempo. Nas medidas de razão de contraste foi considerado, como segmento em teste, o conjunto de todos os pontos (pixels) de um caracter distinto, pois o goniômetro não possui um sistema de lentes que possa ampliar um pixel individualmente para ser medido. Três caracteres (segmentos) distintos do mostrador foram medidos em cada amostra; dois nos extremos do mostrador e um em seu centro.

Todas as trinta amostras foram utilizadas (1 a 30) para as medidas da razão de contraste em função do ângulo de visada. As amostras de números 6, 7, 16, 17, 26, 27 foram desmontadas de seus módulos para se efetuar as medidas de transmitância e tempo de resposta. As amostras numeradas de 1 a 10 foram submetidas ao teste de HTB, de 11 a 20 ao teste de T&H e amostras de 21 a 30 ao teste de T/C.

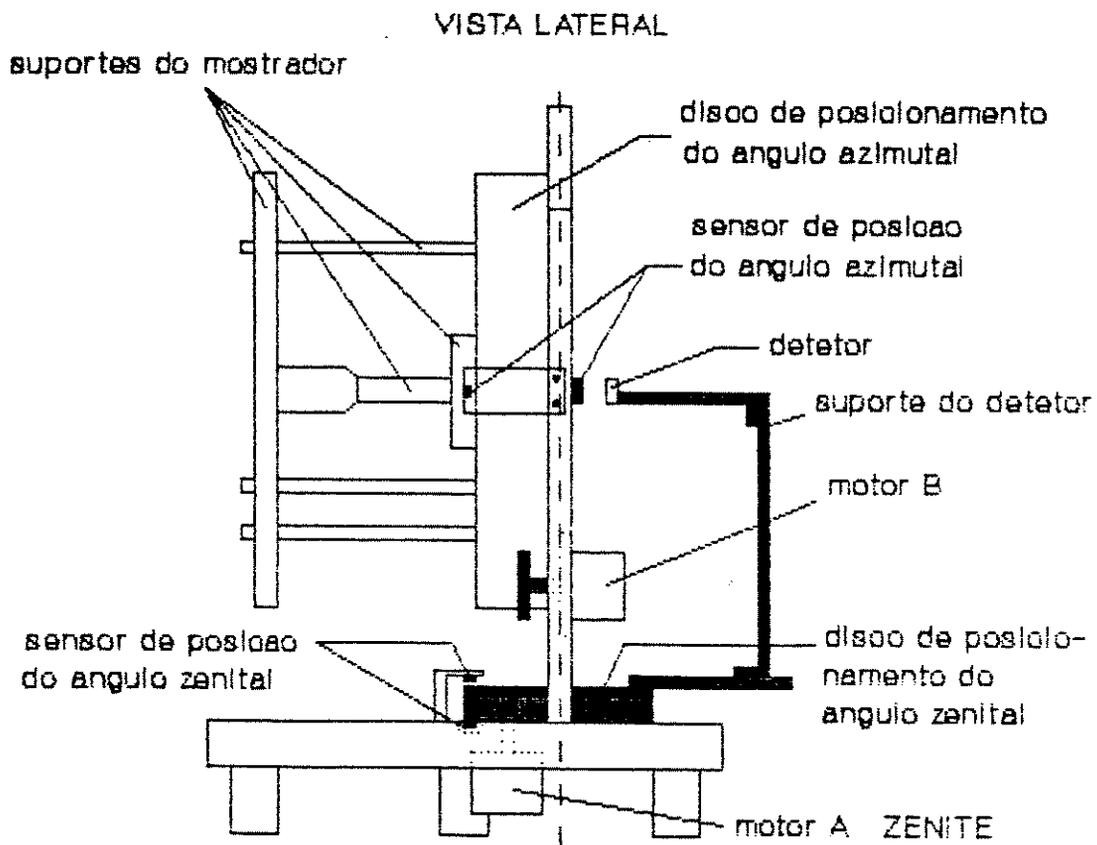
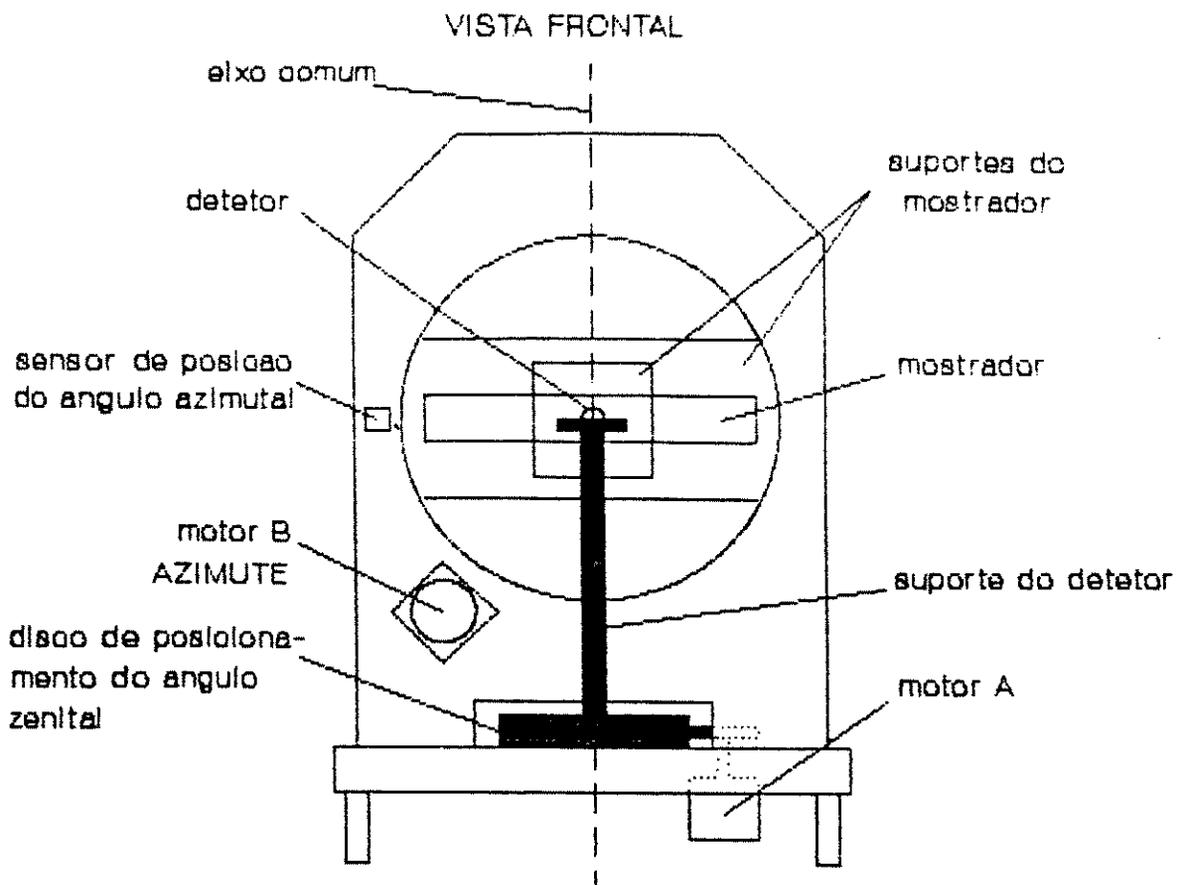


Fig. 5.44) Esquema simplificado do goniômetro

#### 5.5.4) RESULTADOS

Usando as montagens descritas nos métodos experimentais, foram medidas todas as 30 amostras. A partir das medidas das amostras desmontadas foram traçados gráficos da transmitância normalizada em função da tensão aplicada e tempo de resposta em função de um sinal elétrico abrupto. Com as amostras montadas foram traçados gráficos polares da razão de contraste em função do ângulo de visada através do software do sistema de medida.

Apresentaremos somente resultados de uma amostra, pois os outros resultados foram semelhantes. A figura 5.45 mostra o gráfico da transmitância normalizada em função do valor rms da tensão aplicada na amostra a 0 hora do teste de HTB. A máxima intensidade de luz é obtida quando a tensão aplicada é nula e quando os polarizadores estão cruzados. Nota-se que nenhum efeito é sentido na transmitância com o aumento gradual da tensão aplicada até que a tensão de limiar  $V_{th}$  seja atingida. Acima desta tensão a transmitância da luz diminui rapidamente até atingir um patamar onde por mais que se aumente a tensão, a transmitância não diminui mais, ou seja, tensões acima de  $V_{sat}$ . Observa-se que a tensão de 90% está em torno de 1,46V e 10% em torno de 2,13V ( $\pm 0,05V$ ).

As figuras 5.46 a 5.49 mostram respectivamente os gráficos da mesma amostra para tempos de 500, 1000, 1500 e 2000 horas de teste. As tensões de  $V_{sat}$  e de limiar  $V_{th}$  mantiveram-se em valores de 2,13V e 1,46V, respectivamente.

Os resultados da aplicação de um trem de pulsos de onda quadrada de 3V, 100Hz e de duração de 100ms a 0 hora do teste de HTB é mostrado na figura 5.50. O traço superior da figura mostra o sinal elétrico DC de saída do circuito detetor, enquanto o inferior mostra o sinal de forma de onda quadrada aplicada ao mostrador. O tempo de acionamento ( $t_{on}$ ) é determinado medindo-se a defasagem de tempo entre o início do trem de pulso aplicado e o sinal da transmitância até que este atinja 90%. Observa-se que o tempo de acionamento  $t_{on}$  médio está em torno de 25ms,  $t_a$  médio de 10ms e  $t_r$  médio de 15ms.

Quando o trem de pulso é retirado do mostrador observa-se um

tempo maior para a volta ao nível inicial de máxima transmitância. Medindo-se a defasagem de tempo entre a retirada do trem de pulso aplicado e o sinal da transmitância até que esta atinja 90% determina-se o tempo de desacionamento. O valor de  $t_{off}$  médio é de cerca de 30ms.

As figuras de 5.51 a 5.54 mostram os tempos de resposta eletro-ópticas para 500, 1000, 1500 e 2000 horas de teste para a mesma amostra. Os tempos observados não se alteraram durante o teste de vida.

A razão de contraste em função do ângulo de visada são exibidos em gráficos polares, tendo como parâmetros o zênite e azimute. Cada gráfico assume a forma circular tendo os 360 graus de uma volta completa do azimute divididos em quatro quadrantes, onde 90 graus corresponde ao lóbulo preferencial de visada de 12 horas, enquanto 270 graus corresponde ao lóbulo preferencial de 6 horas. A curva da razão de contraste, desenhada sobre o círculo do gráfico, assume um contorno ovalado, sendo mais achatada na posição angular de pior visada e mais saliente, menos achatada, na posição de melhor ângulo de visada, ou seja, tem um lóbulo preferencial de visada nesta posição. Para facilitar a análise e compreensão dos resultados obtidos os gráficos polares são mostrados divididos em três gráficos diferentes para cada grau de zênite adotado (15, 30 e 45). Os resultados mostrados nos gráficos são obtidos a partir da média da razão de contraste de todas as amostras medidas.

A figura 5.55 mostra três gráficos polares da média da razão de contraste para os três segmentos medidos em cada amostra a 0 hora do teste HTB. A curva exibida é característica dos mostradores multiplexados que possuem lóbulo mais escuro em torno de 270 graus de azimute (6 horas). Já a figura 5.60 mostra o lóbulo mais escuro em torno de 90 graus de azimute (12 horas).

As figuras de 5.56 a 5.59 mostram os gráficos a 500, 1000, 1500 e 2000 horas de teste e para visada de 6 horas. Já as figuras 5.61 a 5.64 mostram os gráficos de 12 horas. Observa-se que para todas as medidas efetuadas, o lóbulo maior permanece inalterado.

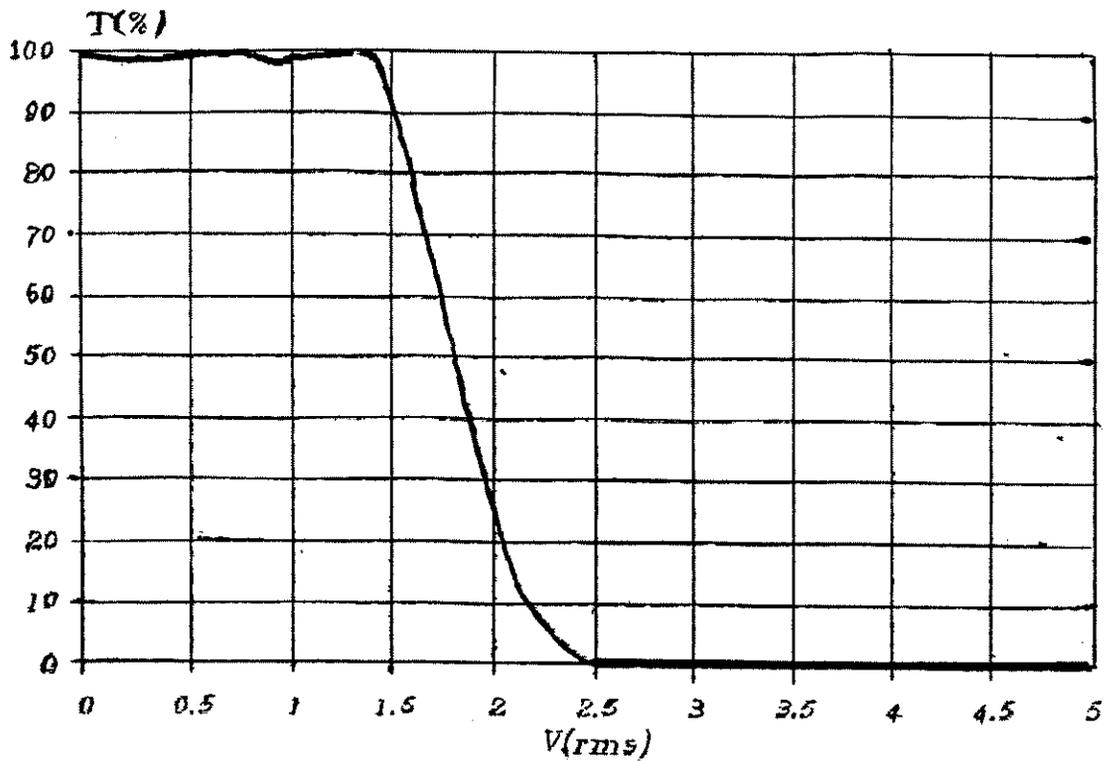


Fig. 5.45) Transmittância em função da tensão aplicada.  
0 hora no teste HTB

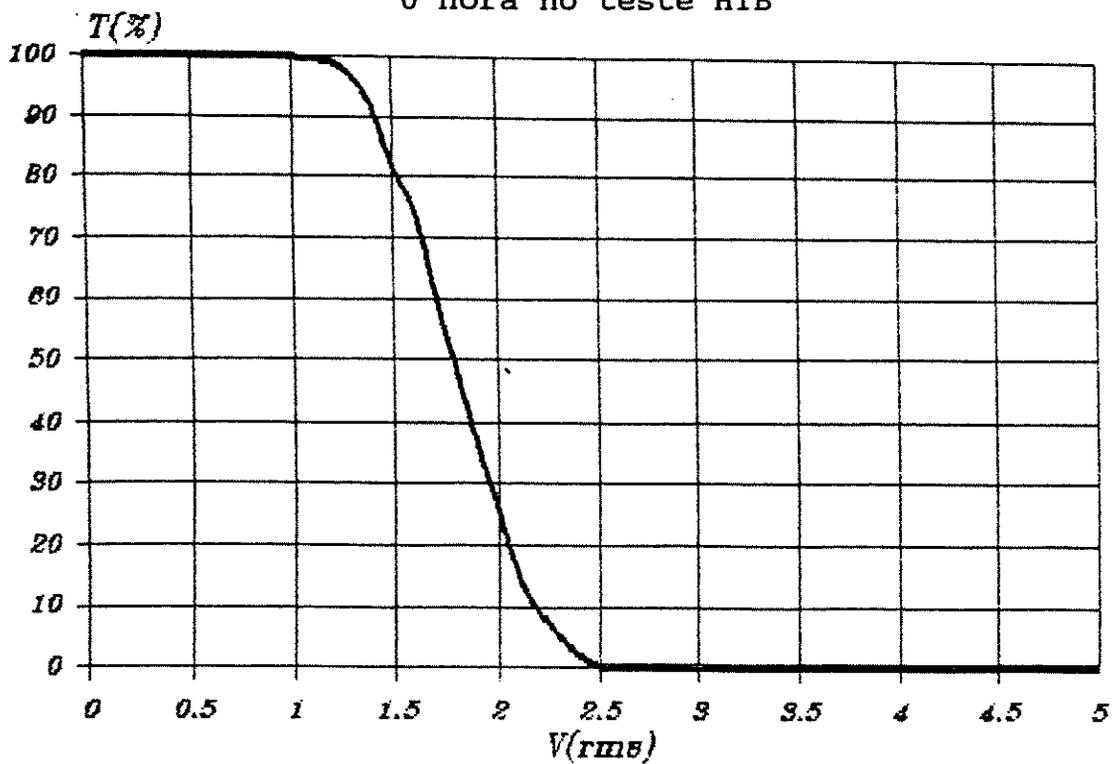


Fig. 5.46) Transmittância em função da tensão aplicada.  
500 horas no teste HTB

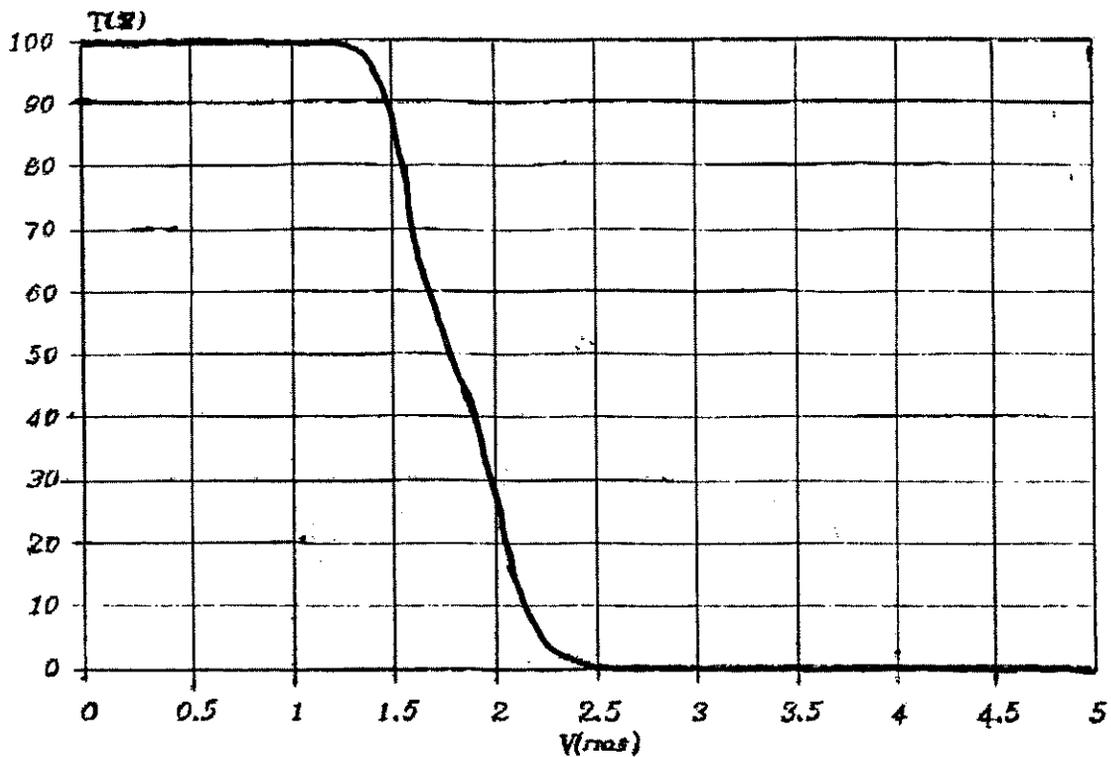


Fig. 5.47) Transmitância em função da tensão aplicada.  
1000 horas no teste HTB

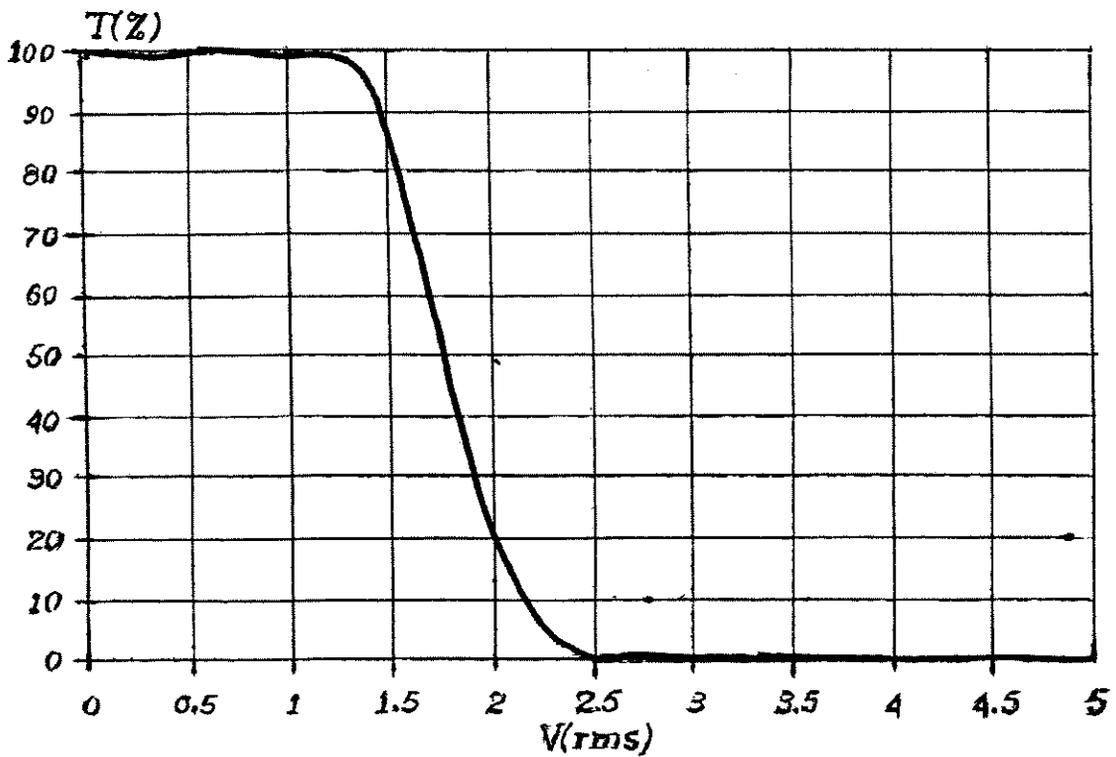


Fig. 5.48) Transmitância em função da tensão aplicada.  
1500 horas no teste HTB

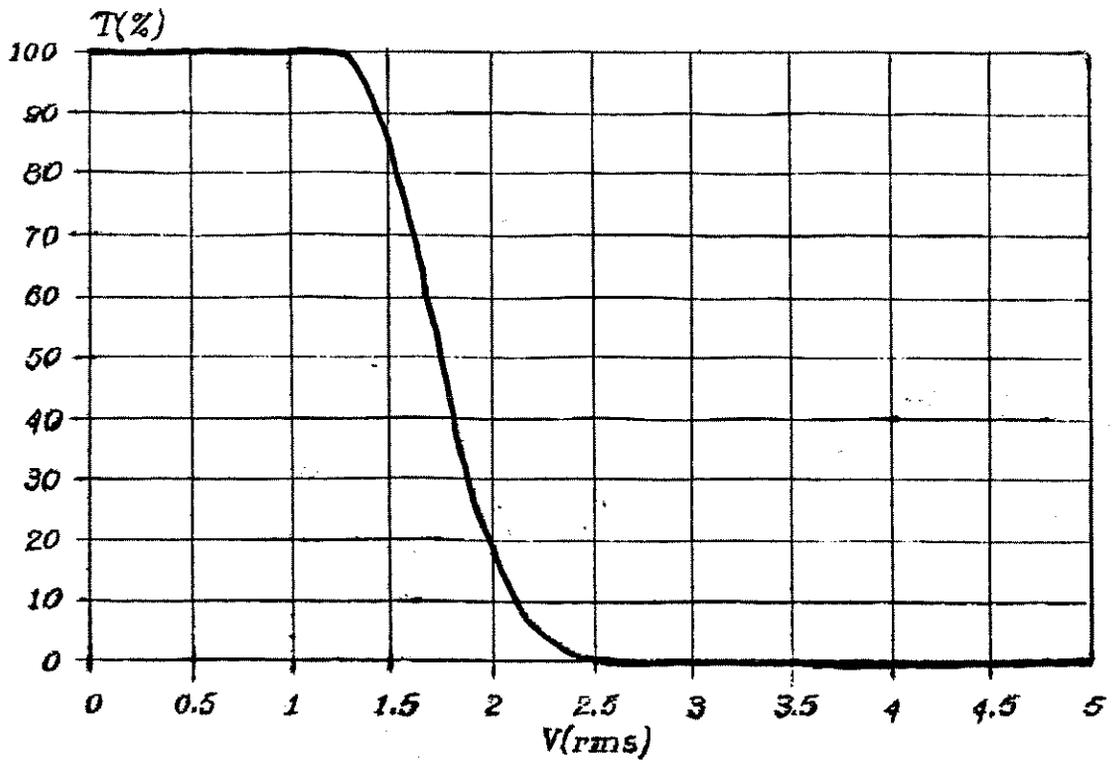


Fig. 5.49) Transmitância em função da tensão aplicada.  
2000 horas no teste HTB

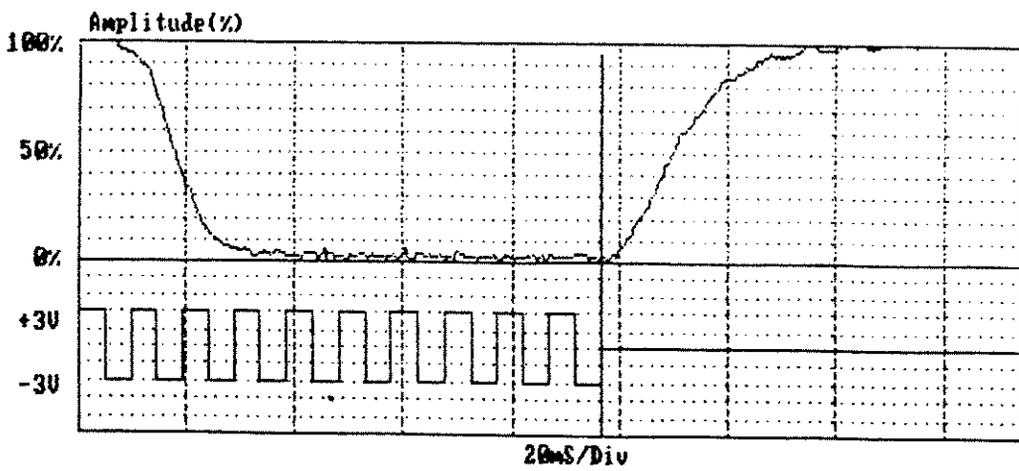


Fig. 5.50) Tempo de resposta para 0 hora do teste HTB

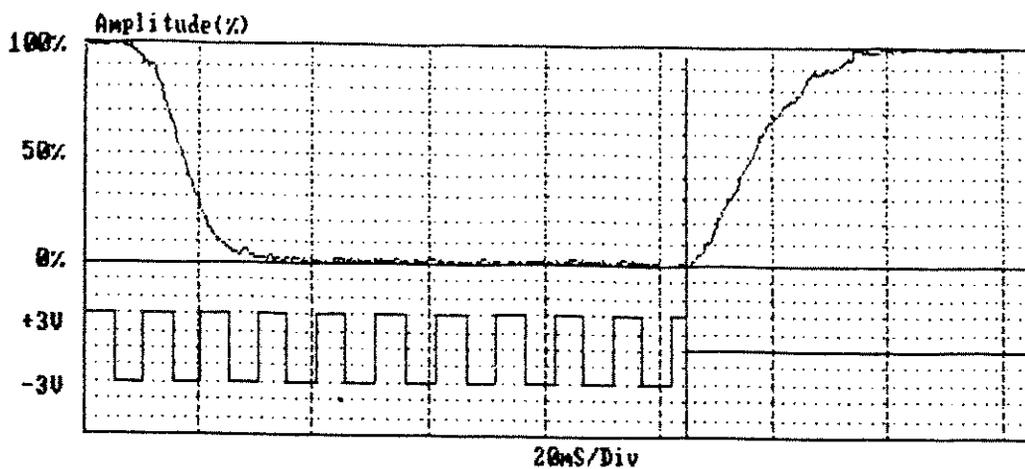


Fig. 5.51) Tempo de resposta para 500 horas do teste HTB

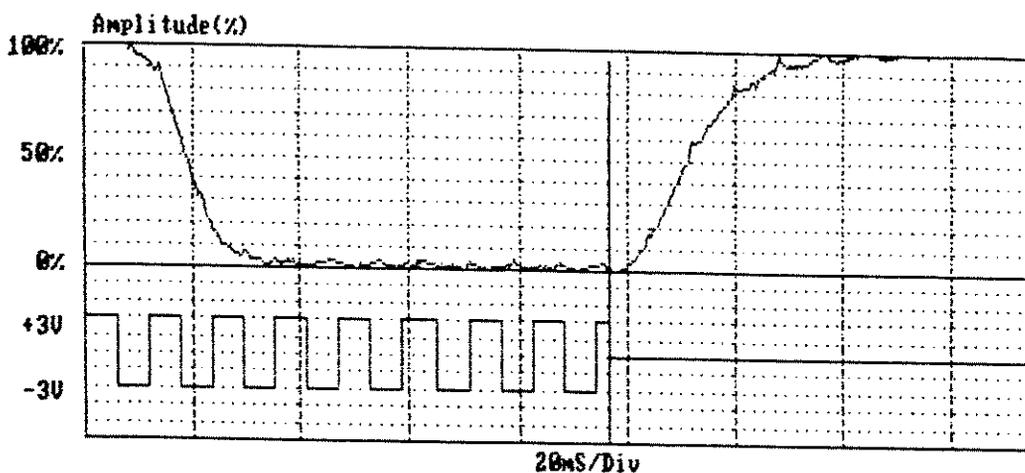


Fig. 5.52) Tempo de resposta para 1000 horas do teste HTB

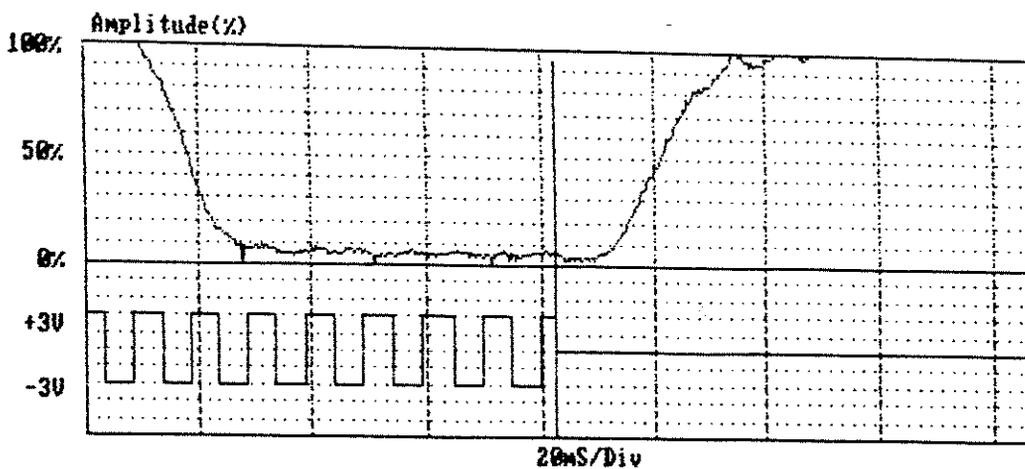


Fig. 5.53) Tempo de resposta para 1500 horas do teste HTB

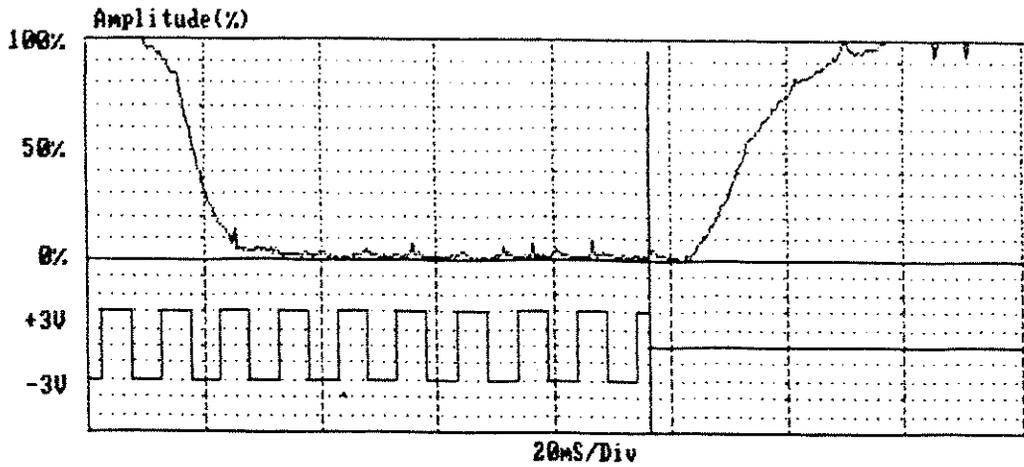


Fig. 5.54) Tempo de resposta para 2000 horas do teste HTB

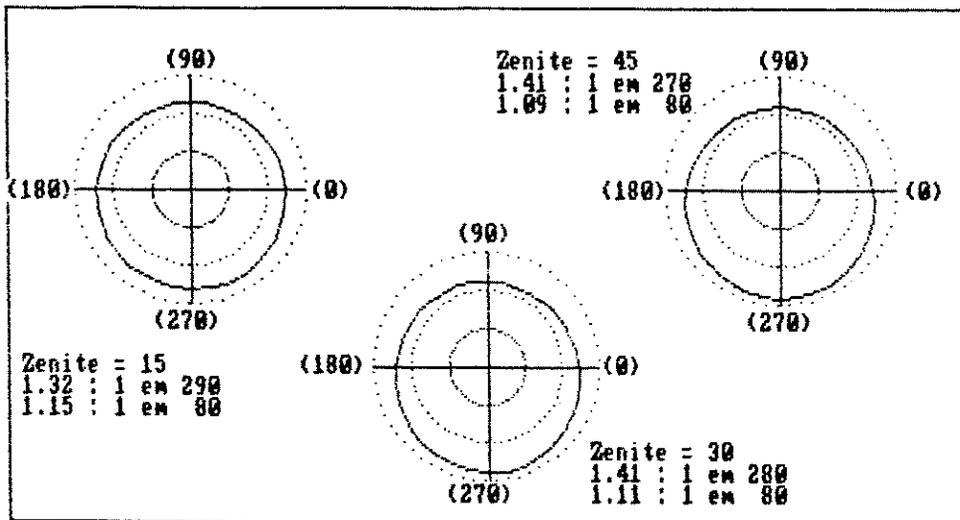


Fig. 5.55) Diagrama de contraste médio 0 horas do teste HTB

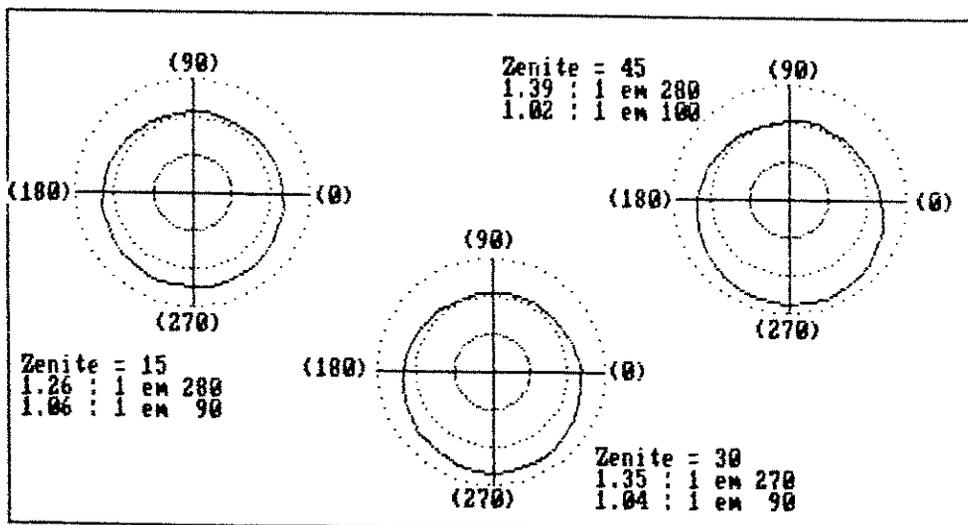


Fig. 5.56) Diagrama de contraste médio 500 horas do teste HTB

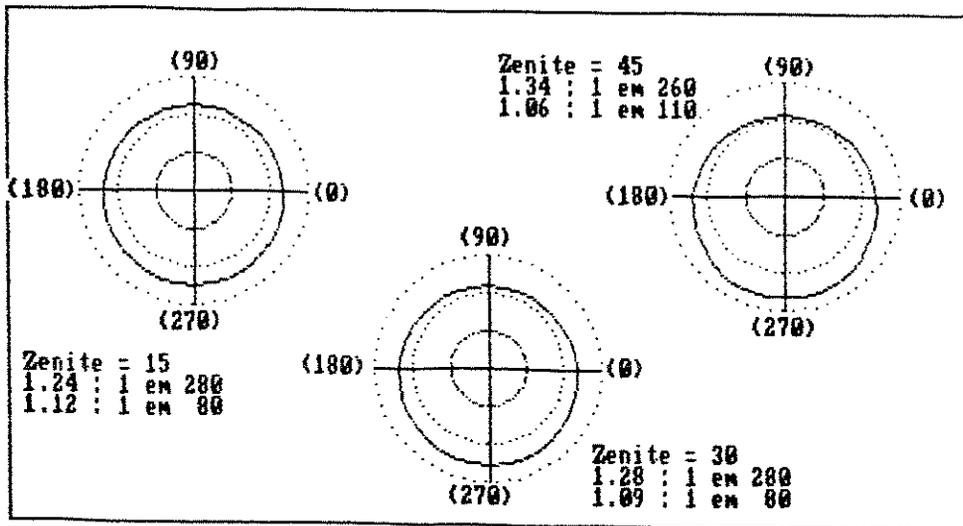


Fig. 5.57) Diagrama de contraste médio 1000 horas do teste HTB

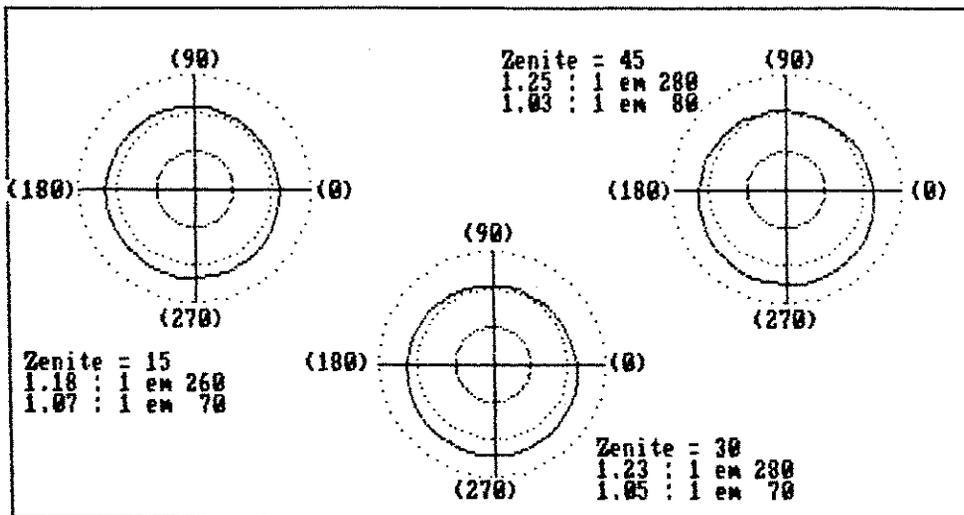


Fig. 5.58) Diagrama de contraste médio 1500 horas do teste HTB

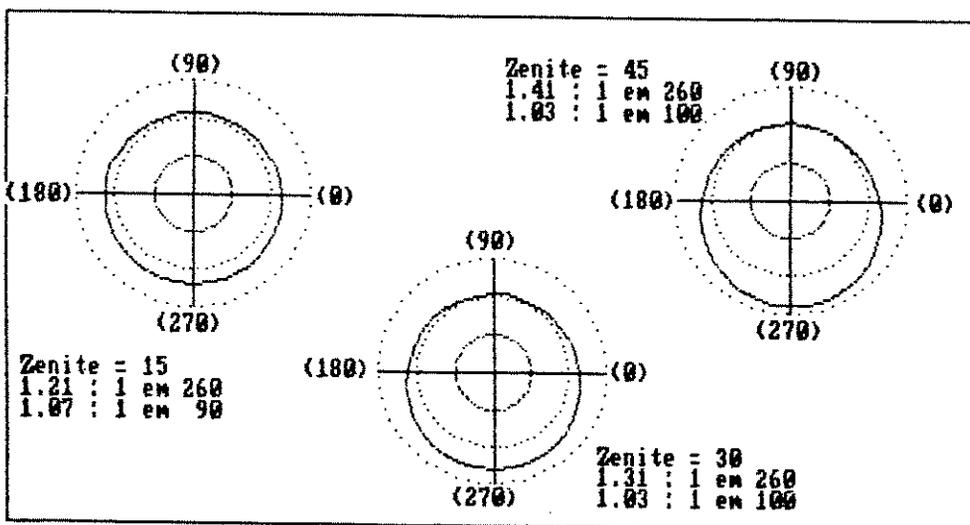


Fig. 5.59) Diagrama de contraste médio 2000 horas do teste HTB

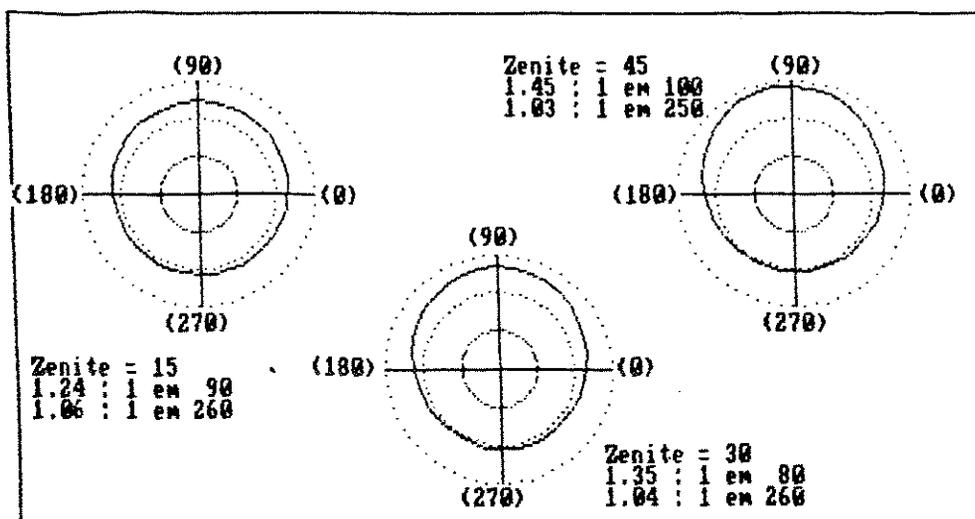


Fig. 5.60) Diagrama de contraste médio 0 horas do teste HTB

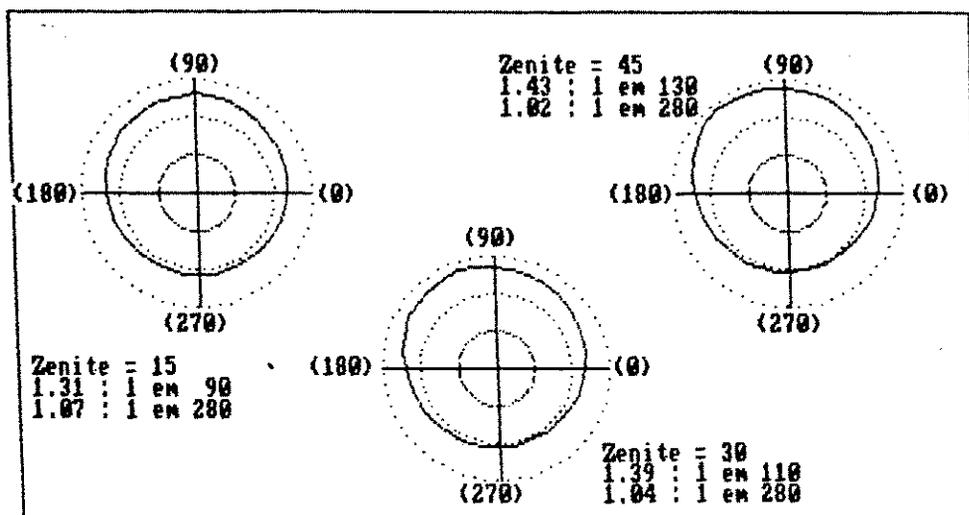


Fig. 5.61) Diagrama de contraste médio 500 horas do teste HTB

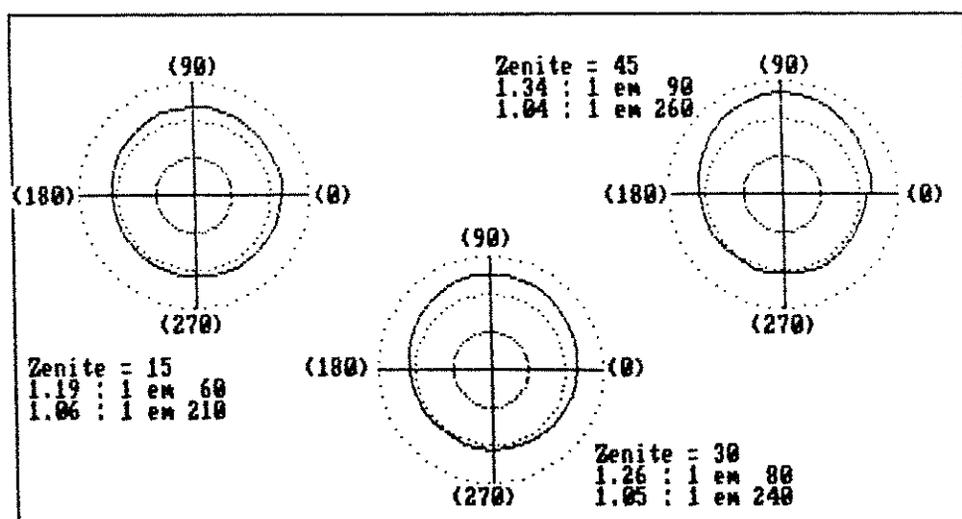


Fig. 5.62) Diagrama de contraste médio 1000 horas do teste HTB

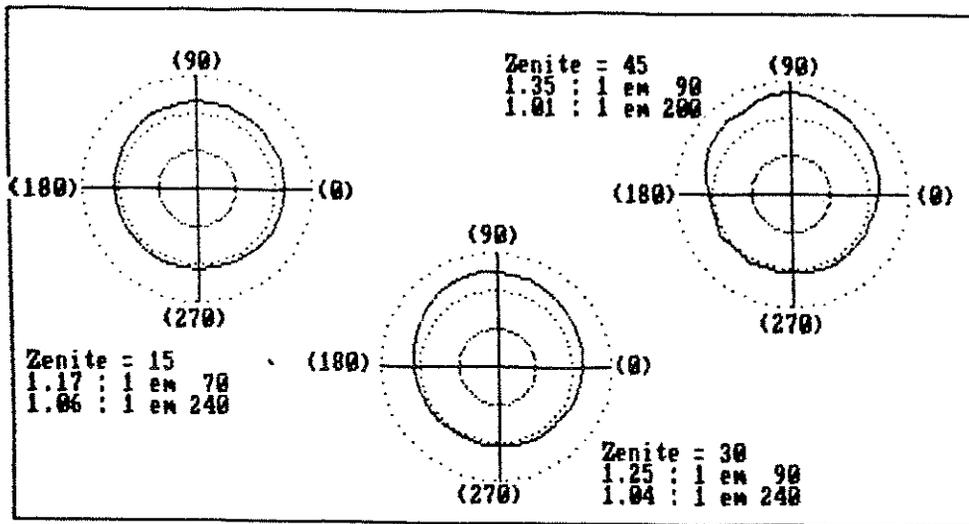


Fig. 5.63) Diagrama de contraste médio 1500 horas do teste HTB

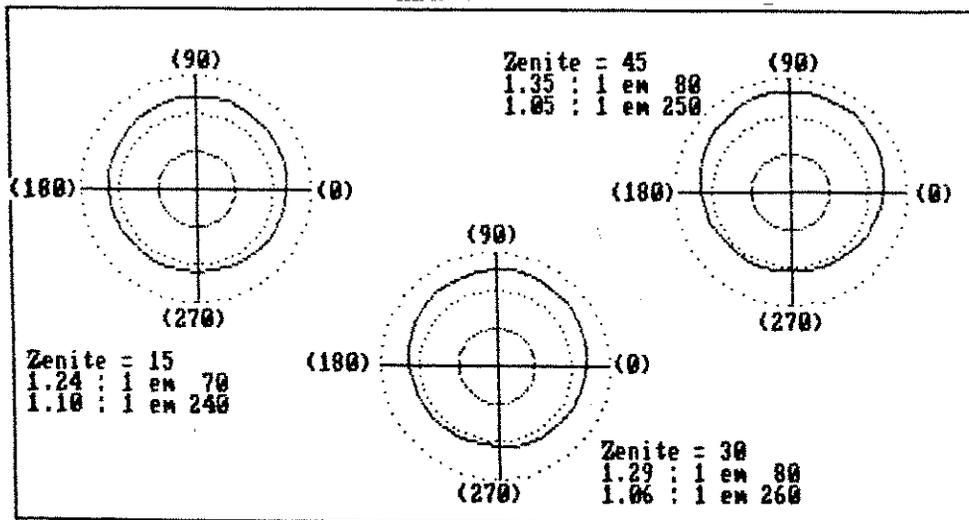


Fig. 5.64) Diagrama de contraste médio 2000 horas do teste HTB

### 5.5.5) CONCLUSÕES

Os testes de tempo de vida mostraram que as amostras permaneceram com suas características iniciais inalteradas durante todo o período de ensaio térmico, indicando que o mostrador e seu módulo não sofreram nenhuma degradação mais significativa.

As curvas de transmitância em função da tensão aplicada mostram-se similares às curvas de mostradores que empregam cristais líquidos nemático-torcidos. As tensões de limiar e de saturação mantiveram-se muito parecidas entre si tanto no contorno quanto nos valores ao longo do tempo (figura 5.65).

O comportamento dinâmico das amostras, quando submetidas aos

testes de tempo de resposta, também mostram-se similares aos mostradores do tipo nemático-torcidos típicos. As curvas de tempo de resposta permaneceram inalteradas durante todo o período de degradação, exceto para os tempos de  $t_{off}$ , que apresentaram um pequeno acréscimo ao longo do tempo devido a uma pequena instabilidade do laser durante o período em que as medidas de tempo de resposta foram feitas (figura 5.66).

Os diagramas da razão de contraste também possuem contornos similares aos mostradores do tipo nemático-torcidos com taxa de multiplexagem em torno de 1:8. O contorno da curva da razão de contraste não se alterou durante o período de ensaio, mantendo a direção preferencial de visada em torno de 270 graus para mostradores de 6 horas e 90 graus para os de 12 horas.

Portanto, a partir dos dados coletados com as medidas eletro-ópticas realizadas concluímos que as amostras permaneceram com suas características inalteradas durante todo o período de teste de confiabilidade.

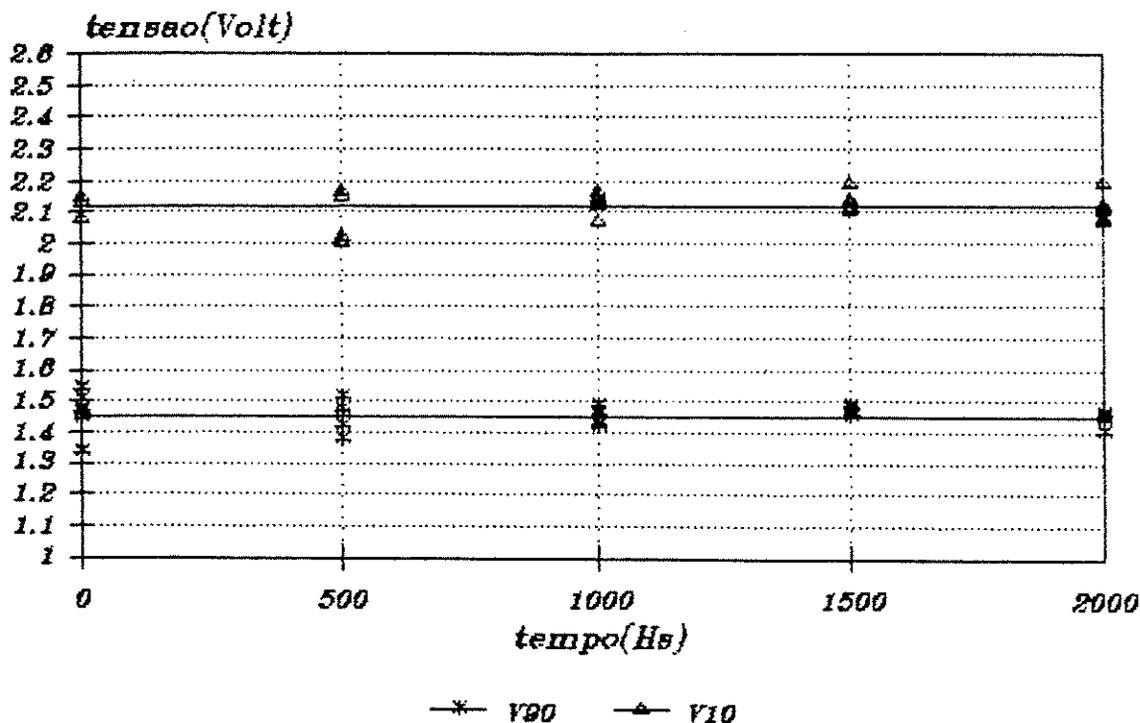


Fig. 5.65) Tensão de limiar e saturação durante o ensaio HTB

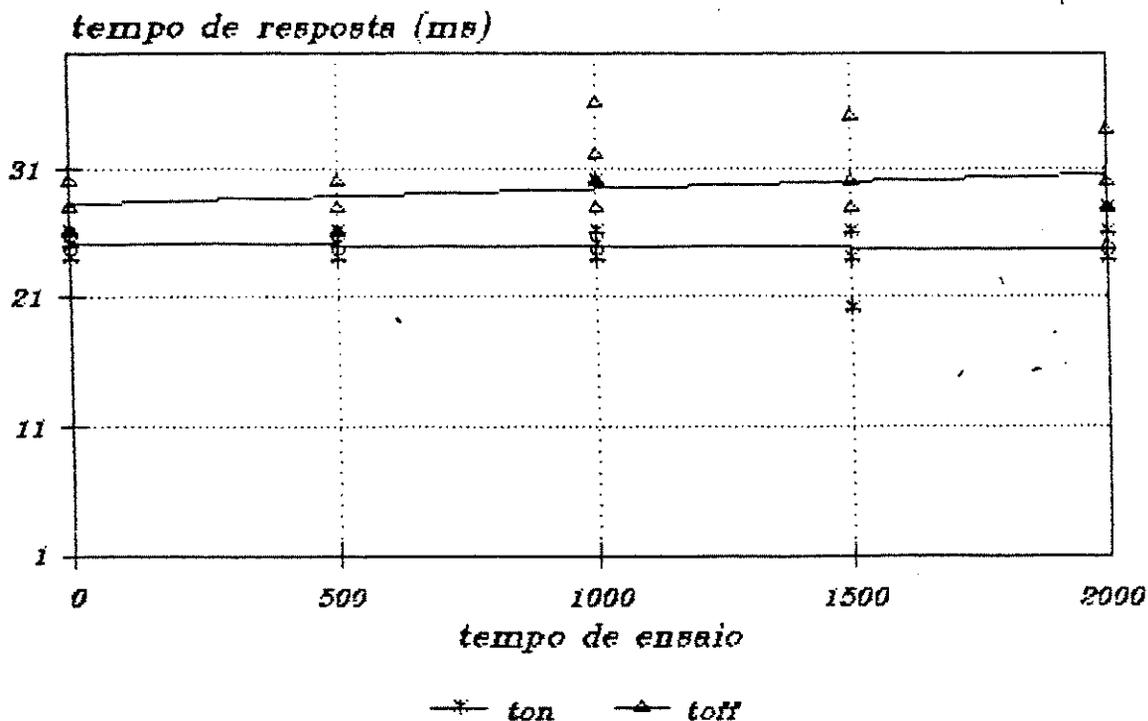


Fig. 5.66) Tempo de resposta óptica em função do período de ensaio HTB ( $t_{on}=25ms$  e  $t_{off}=30ms$ )

### 5.6) CONCLUSÕES

A avaliação do fornecedor feita através dos testes executados apresentou um ponto de preocupação no que se refere ao processo de fabricação da pastilha do circuito integrado HD44780, onde observou-se alguns problemas, mas o teste de confiabilidade específico para testar a pastilha do CI não apresentou falhas, o que nos leva a concluir que os problemas de processamento não irão afetar a confiabilidade do módulo. A análise da degradação eletro-óptica durante os testes de confiabilidade não observou degradação significativa, o que significa que o cristal líquido é de boa qualidade.

Os bons resultados observados após os testes aqui descritos

nos permitem aceitar a taxa de falha enviada pelo fornecedor, e que é mostrada na tabela 5.2 abaixo.

Tabela 5.2) Taxa de falha média do LCD (fornecedor)

Lista de comp.	Quantidade	$\lambda$ (FITs)	$\lambda \times$ quant. (FITs)
Cristal líquido	1	1000	1000
HD44780	1	840	840
Resistores	6	2	12
Soldagens	100	0,5	50
Buracos da placa	98	0,2	20
Interconexões	100	2	200
LED's	8	40	320
<b>TOTAL</b>	-	-	<b>2442</b>

$$MTBF = \frac{1}{2442 \times 10^{-9}} = 410 \text{ Khoras}$$

#### 5.7) REFERÊNCIAS

- 1) Especificações técnicas do fornecedor
- 2) Dados de qualidade e confiabilidade enviados pelo fornecedor
- 3) Taxa de falha média fornecida pelo fornecedor
- 4) Relatórios técnicos do laboratório da IBM  
Números: 2837D e VIB009.
- 5) Especificações de engenharia da IBM  
Números: 0899039, 0899052 e 0899424
- 6) Mostradores de cristal líquido nemáticos torcidos estáticos  
Luiz Alberto Castro de Almeida  
Tese de mestrado - Unicamp 1989
- 7) Liquid Crystal Displays: An Introduction  
William H. Matteson  
Technical Report - Research Triangle Park, IBM, 1987
- 8) Liquid Crystal Displays  
User Guide, Philips Components

- 9) The Physics and Chemistry of Liquid Crystal Devices  
Gerald J. Sprokel  
Plenum Press - 1969
- 10) Liquid Crystal Matrix Displays  
Eiji Kaneko - Hitachi Research Lab.
- 11) Electro-Optic liquid Crystals  
BDH - Advanced Materials Division
- 12) Liquid Crystals  
Datasheet 6 a 10 - BDH Advanced Materials Division
- 13) Liquid Crystal catalogue  
BDH Advanced Materials Division
- 14) Microelectronics Manufacturing and testing  
Dec/1990 Vol. 13, No 13

## CAPÍTULO 6

### ESTUDO DE CASO III: QUALIFICAÇÃO DE CIRCUITOS INTEGRADOS TTL

#### 6.1) INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentaremos resultados da qualificação de circuitos integrados de tecnologia (74LS) - Low Power Schottky (TTL). Estes componentes são encapsulados no Brasil, sendo que o processo de fabricação das pastilhas é executado por um fornecedor já qualificado no exterior.

O objetivo desta qualificação é a de obter uma taxa de falha média de até 5 FIT's para um nível de confiança de 50%, como foi estabelecida pelo Laboratório de projetos de novos produtos. Além disto, executar todos os testes dos grupos A, B e C para assegurar que o componente tenha um nível de qualidade esperado dentro do produto que está sendo projetado.

Utilizamos, para este trabalho, amostras de três diferentes semanas de fabricação e dois tipos de códigos comerciais (74LS30 e 74LS374), dentre os vários tipos de códigos fabricados pelo fornecedor. A qualificação visa aprovar todos os tipos de códigos fabricados para esta tecnologia, pois o processo é o mesmo.

É importante frisar que neste capítulo somente apresentaremos resultados dos testes de confiabilidade, com o objetivo de mostrar somente os resultados mais relevantes. Isto é justificado pelo fato que, a análise de construção mostrou resultados excelentes, não apresentando maiores pontos de preocupação. As auditorias de qualidade e de processo também mostraram que o fornecedor tem alto grau de preocupação em relação a qualidade e tem um sistema de controle estatístico de processo implementado e não necessitando de nenhum ajuste adicional. No que se refere a estes pontos, o fornecedor tem um nível excelente de qualidade.

## 6.2) DESCRIÇÃO DO COMPONENTE

Produto	CI TTL 74LSXX
Fabricante da pastilha	National
Local da fábrica	Greenock - Scotland(GB)
Tecnologia do produto	Low power Schottky

### PARÂMETROS FUNCIONAIS

Lógica utilizada	TTL
Potência do CI	220mW (Vcc=5,5V)
Velocidade do CI	35MHz
Dimensões da pastilha	esp. 19 a 21 MILs área 99x71 MILs(LS374) área 37x38 MILs(LS30)
Temp. típ. da pastilha	0-70°C/128mW
Temp. máx. da pastilha	150°C

### ENCAPSULAMENTO

Linha/local encapsulamento	Fornecedor/Brasil
Fio de ouro	Dia. 1MIL, Au, 99,999%
Força de tração	faixa 8-12g, média 8,5g

### BOLA DE OURO (WIRE BOND)

Tipo	bola/stitch
Método	termossônico
Tensão da bola de ouro	faixa >5g, média 10g
Área de contato	>50%

### COLAGEM DA PASTILHA (DIE ATTACH)

Método	epoxy condutivo
Composição	Ag-powder 75%

### ENCAPSULAMENTO PLÁSTICO

Conteúdo de cloreto hidrolizado	0,002%
Tipo/ marca	Novolac

### RESINA

temp. de transição	150-160°C
Coef. de expansão linear	27 Mpol/pol/°C=0,027 /°C
Condutividade térmica máx.	24E-04 cal/seg/cm <sup>3</sup> /°C

### PARÂMETROS DE MOLDAGEM

Tempo	15s±1s
temperatura	175°C±5°C

Resina	epoxy Plaskon 3100
Tipo de molde	sílica fundida
MOLDURA DE TERMINAIS (LEAD FRAME)	
Material	Fe-Ni (Liga 42)
Cobertura	Prata
Espessura	3,2mm

### 6.3) TESTES EXECUTADOS E RESULTADOS

Os seguintes testes foram executados durante a qualificação:

- a) Análise de construção
- b) Caracterização paramétrica
- c) Ensaios mecânicos
  - Teste de torção/ teste de tensão dos terminais
  - Teste de durabilidade do carimbo
  - Soldabilidade
  - Choque térmico
  - Flamabilidade
- d) Análise de contaminação iônica
- e) Estudo de falhas prematuras
- f) Ensaio de confiabilidade da pastilha (HTB)
- g) Ensaio de confiabilidade do encapsulamento (T&H e T/C)

Não encontramos problemas em nenhum dos testes executados e os ensaios de confiabilidade não apresentaram falhas durante as 2000 horas de teste. Vale lembrar ainda que para todos os testes utilizamos dois tipos de componentes (74LS374 e 74LS30).

#### 6.4) TABELA DA TAXA DE FALHAS MÉDIA

teste	n	te(hrs)	Af	HTA	falhas	afr (FITs)		
						50%	60%	90%
HTB	300	2000	652	0,39E09	0	1,77	2,34	5,89
T&H	700	2000	2260	3,16E09	0	0,22	0,29	0,73
T/C	643	2000	1700	2,19E09	0	0,32	0,42	1,05
					TOTAL	2,31	3,05	7,67

Onde: n é o número de amostras

te é o tempo de teste nos ensaios acelerados

HTA é o número de horas acumuladas  $HTA=n*te*Af$

Nenhuma falha foi observada após os testes de confiabilidade, o que nos indica que os componentes tem um potencial alto de confiabilidade. Todas as leituras paramétricas (elétricas AC e DC) foram efetuadas durante os testes de confiabilidade, seguindo as especificações do fornecedor. É considerada falha aquele componente que estiver com algum parâmetro fora da faixa especificada pelo fabricante.

#### 6.5) CONCLUSÕES

O objetivo inicial era de mostrar que os componentes desta tecnologia tinham um nível de qualidade compatíveis com os requisitos de qualidade, ou seja, uma taxa de falha média de no máximo 5 FIT's. Segundo os testes de confiabilidade, a taxa de falha média foi de 2,31 FIT's para um nível de confiança de 50%. O que nos indica que o componente desta tecnologia pode ser usado nos produtos ora em desenvolvimento.

Durante a qualificação, tivemos a oportunidade de conhecer melhor o fornecedor e sentimos que o mesmo apresentava uma preocupação muito grande para o aspecto da qualidade dos produtos.

## 6.6) REFERÊNCIAS

- 1) Especificações técnicas do fornecedor
- 2) Desenho com especificações técnicas dos componentes IBM  
Números: 8272146 e 5617033
- 3) Especificações de engenharia IBM  
Números: 866348 e 2413138
- 4) Relatórios técnicos de análises do lab. da IBM  
Números: 1600D, 1708D, 1711D, 1804D, 1795D, 1823D, 1771D, 1751D  
1800D
- 5) How to determine sample size and estimate failure rate in  
component life test  
Eduardo C. Moura  
American Society for Quality Control. Vol. 15
- 6) Tópicos sobre qualidade e confiabilidade de semicondutores  
Eduardo Corrêa de Moura  
Qualitec - Notas de Aula
- 7) Relatório completo da qualificação  
Juscelino Hozumi Okura - IBM
- 8) MIL-STD-883B, Test methods and procedures for microelectronics  
Department Of Defense-USA. Aug., 1977  
US Government Printing Office- Washington, DC
- 9) MIL-STD-750, "Test methods for semiconductor devices"  
Department Of Defense-USA. 1963  
US Government Printing Office- Washington, DC
- 10) MIL-STD-202, "Test methods for electronic and electrical  
component parts"  
Department Of Defense-USA. 1963  
US Government Printing Office- Washington, DC

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Apresentamos uma revisão de métodos de análise de confiabilidade e controle de qualidade e a aplicamos em três estudos de caso. Destes estudos chegamos às seguintes conclusões:

Nos testes de qualificação de LED's obtivemos bons resultados em todos os testes executados. A análise de construção evidenciou claramente que o fabricante não possuía um controle de processo eficaz no seu processo de encapsulamento. Mas isto não afetou a performance dos componentes durante os testes de confiabilidade. A degradação luminosa ficou em torno de 28% após as 1000 horas do teste de alta temperatura e alta corrente. Este patamar está de acordo com as especificações do fabricante e também dentro dos requisitos exigidos para o produto.

A análise de construção dos Módulos de Cristais Líquidos apresentou alguns pontos de preocupação em relação à montagem geral e principalmente no processo de fabricação da pastilha do circuito integrado LSI HD44780 controlador/driver, o que nos obrigou a executar um teste adicional de confiabilidade específico para este CI, que foi o teste de HTB altamente acelerado. Este teste foi importante no sentido de verificar se os problemas no processamento da pastilha poderiam diminuir a confiabilidade do componente. Felizmente não detetamos falhas durante este teste. Foi estudado a degradação dos parâmetros eletro-ópticos dos cristais líquidos durante os testes de confiabilidade e os resultados mostraram que os mesmos não sofreram degradação destes parâmetros, nem mesmo após as 2000 horas de testes. Os outros componentes do módulo (cristal líquido, placa de circuito impresso, diodos e resistores) apresentaram aspectos de montagem e fabricação de excelente qualidade.

Os testes executados no circuito integrado TTL apresentaram resultados excelentes e a análise de construção apresentou um processo bem controlado e sem problemas aparentes. O fornecedor mostrou ser competente nos aspectos qualidade e confiabilidade.

As técnicas de qualificação de componentes eletrônicos apresentados neste trabalho, que são baseadas no método tradicional de previsão da confiabilidade usando-se métodos estatísticos, mostraram bons resultados. A idéia geral era conhecer melhor o componente sob estudo e garantir que o fornecedor estava consciente o suficiente para fornecer componentes de boa qualidade e confiáveis. Constatamos através dos testes executados, que de um modo geral os componentes tem um bom potencial de qualidade e confiabilidade, porém identificamos alguns problemas relacionados ao processamento da pastilha (caso II) e em relação ao processamento do encapsulamento (caso I), onde residem os maiores problemas de confiabilidade. Em relação aos sistemas de gerenciamento de qualidade dos fornecedores, notamos que todos tinham os mesmos já implementados, necessitando somente de alguns ajustes adicionais.

A vantagem deste método é que os modelos matemáticos utilizados são baseados nos dados de falhas que são observados no campo, ou seja, obtidos empiricamente.

O método tradicional da previsão da confiabilidade utilizado neste trabalho, apesar dos bons resultados, apresenta algumas limitações:

1) Assume que as falhas ocorrem a uma taxa constante (modelo exponencial). No caso de componentes eletrônicos atuais observamos que isto não mais é verdade.

2) Mesmo a MIL-HDBK-217 que é usada para previsão da confiabilidade, usa modelos de confiabilidade de tecnologias já ultrapassadas. Dados de falhas no campo com estes tipos de tecnologias não são totalmente corretos para novas tecnologias.

3) Este método não leva em conta aspectos tais como: manuseio errôneo dos componentes durante montagem em placas de circuito impresso; interconexão dos mesmos no circuito impresso onde pode sofrer diferentes exposições de temperatura; diferentes exposições durante armazenamento; uso incorreto do componente; dados estatísticos inválidos; etc.

4) Não existem dados de análise de falha dos componentes que falham no campo, isto pode resultar em dados errados para a previsão da confiabilidade.

5) O processo de qualificação de componentes eletrônicos usando esta metodologia é muito demorado, não sendo mais viável para produtos que tenham ciclo de vida muito curtos, como no caso de produtos da área de informática.

Para evitar os problemas relativos a esta teoria, existe em desenvolvimento uma nova teoria chamada: metodologia de avaliação da confiabilidade. Esta teoria leva em conta os materiais, processos de manufatura e aplicação específica dos componentes no produto. Esta metodologia utiliza modelos de falhas que identificam os potenciais mecanismos de falhas (Physics-of-failure).

Como sugestão para trabalhos futuros podemos propor os desafios e oportunidades de pesquisa que esta nova metodologia de avaliação da confiabilidade coloca em nossas mãos:

1) Desenvolvimento de modelos de mecanismos de falhas, que é a pedra fundamental desta teoria. Estes modelos estudam os processos físicos dos diferentes materiais e suas interrelações para entender os mecanismos de falha relacionados com estes materiais e com os diferentes tipos de esforços.

2) Desenvolvimento de modelos que englobem as falhas devido a mortalidade infantil e falhas aleatórias durante vida útil. Estas falhas muitas vezes são causadas durante manufatura, montagem, manuseio e aplicação errônea do componente no produto.

3) Investigação das causas da variabilidade que podem contribuir no tempo de vida e dados de falhas dos produtos.

4) Desenvolvimento de modelos de eventos múltiplos e falhas repetidas que podem alterar a distribuição do tempo de vida e sistemas reparáveis.

5) Desenvolvimento de normas que substituam as que hoje são consideradas ultrapassadas, quais são: MIL-HDBK-217: "Reliability Prediction of Electronic equipment" e MIL-STD-785: "Reliability Program for System and Equipment, Development and Production". Norma que especifique requisitos gerais e tarefas para gerenciamento dos programas de confiabilidade.

## CONCLUSION

The traditional approach to predict the reliability of electronic components was used in this work. After all tests performed, the Construction analysis detected some problems on the wire-bond process of the LEDs and in the DIE fabrication process of the IC HD44780 of the LCD modules. The reliability tests (HTB, T&H and T/C) showed good results in spite of the problems detected by the Construction Analysis.

The reliability models to predict the average failure rate of electronic components use exponential (constant failure rate) model. And this model is not appropriate to the electronic components used today, because it assumes that the components fail at a constant and predictable rate. The lead time of the qualification cycle is the another problem, because the timely delivery of new products in the market is critical to cost-effectiveness. The need for one better methodology to substitute the traditional approach is a must.

There is a proposition of the methodology of reliability assessment that can be used to substitute the traditional approach. As future studies in this area, we have many challenges and research opportunities in reliability assessment modeling, such as: i) development of physics-of-failure models, ii) development of mixture models which consider both early and premature wear-out failures, iii) investigation of the sources of variability contributing to lifetime and failure data, iv) development of multiple-event and repeated failure models, v) development of a dual-use alternative to the U.S. MIL-STD.