

25.5.90  
3.04.00.00-9

WALTER EDUARDO ASSMANN  
ENGENHEIRO MECÂNICO

DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR DE TATO  
PARA UTILIZAÇÃO EM ROBÔS

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À ESCOLA POLITÉCNICA  
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA

ORIENTADOR: PROF. DR. OCTÁVIO MAIZZA NETO

SÃO PAULO  
1990

FD. 1129

Aos meus pais, Carmen e Victor

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Octávio Maizza Neto, pela constante orientação do presente estudo, dedicação, paciência, apoio e estímulo à nossa carreira universitária e profissional.

Ao Professor Eduardo Akira Misawa, pelas sugestões, apoio e atenção dedicados a este trabalho.

Ao Professor Valter Francisco Arruda Alves, pela atenção e ajuda durante a utilização dos laboratórios do Departamento de Engenharia Mecânica.

À Dra. Célia Marcia Riscalla, pela imprescindível colaboração em Dermatologia.

À Dra. Vera Regina D. Von Eickstedt, chefe do Setor de Artrópodos Peçonhentos do Instituto Vital Brasil, pela contribuição essencial ao trabalho.

À Sra. Maria Izabel Testone, da Seção Sul Brasil do Instituto dos Engenheiros Eletrecistas e Eletrônicos, pela colaboração recebida.

Ao fotógrafo Horácio Santos Feres, pelas fotografias.

Às Sras. Eliana Ribeiro, Marcia Peicher Lisboa e Tania He-  
glacy M. de Almeida, pela extrema dedicação à datilografia e  
revisão do texto.

Aos Srs. Marcos Francisco de Almeida e Paulo Denis Marques  
Silva, chefes do escritório FINEP/SP, pelo constante apoio  
durante o trabalho.

Aos meus pais, pelo constante estímulo, compreensão, paciên-  
cia e apoio em nossa formação.

# DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR DE TATO PARA UTILIZAÇÃO EM ROBÔS

## RESUMO

O presente trabalho expõe e relata sobre o desenvolvimento de um sensor de tato para utilização em robôs para detecção de formas.

Tal desenvolvimento iniciou-se pela comparação de diversos sistemas de tato existentes na natureza.

Os resultados obtidos foram analisados e decidiu-se basear o desenvolvimento, a partir daí, nos pêlos scopula encontrados nas pernas das aranhas.

Para o transdutor elegeu-se um sistema óptico como base para futuros desenvolvimentos.

A avaliação final do sensor foi feita com base na qualidade das medições realizadas pelo mesmo.

## DEVELOPMENT OF A TACTILE SENSOR TO BE USED IN ROBOTS

### ABSTRACT

The present work relates the development of a tactile sensor to be used in robots for shape detection.

This development was initially based in the comparison of several tactile systems presently found in nature.

Results obtained were analysed and led to the adoption of a system based on the scopula piles found in spider legs.

An optical system was chosen as transducer and base for future developments.

The final evaluation of the sensor was made based on quality of the performance of the sensor.

## ÍNDICE

<b>I - INTRODUÇÃO</b>	19
I.1 - Robôs	19
I.2 - Robôs Industriais	21
I.3 - Definição de Robô	21
I.4 - Configuração de Robô	23
I.5 - Justificativa para o Trabalho	27
I.5.1 - Estado Atual	27
I.5.2 - Tendências de Pesquisas Atuais	29
<b>II - OBJETIVO</b>	32
II.1 - Objetivo do Trabalho	32
II.2 - Metodologia Adotada no Projeto	32
<b>III - O SISTEMA HUMANO</b>	35
III.1 - Comentários	35
<b>IV - ALGUNS EXEMPLOS DA NATUREZA</b>	43
IV.1 - Comentários	43
IV.2 - Minhocas	43
IV.3 - Aranhas	45

IV.3.1 - Pêlos Tâteis	46
IV.3.2 - Pêlos Trichobothria	48
IV.3.3 - Pêlos Scopula	51

**V - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES SOBRE O SISTEMA  
A SER ADOTADO** 54

V.1 - Comentários Preliminares	54
V.2 - Alguns Sistemas Existentes de Sensoriamento de Tato para Robôs	57
V.2.1 - Sistema Magneto-resistivo	57
V.2.2 - Pele Artificial	58
V.2.3 - Garra de Hill e Sword	59
V.2.4 - Sensor de Peruchon	60
V.2.5 - Sensor com Fibras Ópticas	61
V.3 - Comentários Finais sobre o Sistema a ser Utilizado	62

**VI - DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO** 65

VI.1 - Considerações Preliminares	65
VI.2 - Esboço do Sensor	68
VI.3 - Esquema de Funcionamento	71
VI.4 - Considerações Teóricas	72
VI.4.1 - Leis Fundamentais	72
VI.4.2 - Conceitos Fotométricos e Unidades	74



VI.5 - Aspectos Construtivos do 1º Protótipo	79
VI.6 - Gráfico Tensão x Deslocamento	83
VI.7 - Comentários	84
VI.8 - Comentários sobre o 1º Protótipo após a Troca de Posição do Fotoresistor	90
VI.9 - Aspectos Construtivos do 2º Protótipo	91
VI.10 - Desenvolvimento do Circuito para o Fototransistor	92
VI.11 - Comentários sobre o Circuito com Fototransistor	105
VI.12 - Alterações do Circuito para o 2º Protótipo	107
VI.13 - Desenvolvimento do Circuito para a Célula Fotovoltáica	108
VI.14 - Comentários sobre o Circuito com Célula Fotovoltáica	118
VI-15 - Aspectos Construtivos do 2º Protótipo	119
VI.16 - Comentários	122
VI.17 - Comentários Finais	128
<b>VII - ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>141</b>
<b>VIII - CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS PARA CONTINUIDADE DAS PESQUISAS E APLICAÇÃO FUTURA</b>	<b>143</b>
<b>IX - APÊNDICES</b>	<b>149</b>
<b>X - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>173</b>

## FIGURAS

1.2 - Configuração de um Robô em Operação	25
3.1 - Esquema de Funcionamento do Sistema Nervoso Humano	36
3.2 - Esquema de Terminações Nervosas Humanas	37
4.1 - Diagrama da Seção Longitudinal de uma Célula Sensorial da Minhoca	44
4.3 - Esquema Longitudinal de um Pêlo Tátil de uma Aranha	47
4.4 - Disposição Esquemática de Pêlo Trichobothrium	49
4.5 - Diagrama de Sensitividade Direcional de um Pêlo Trichobothrium	50
5.1 - Esquema dos Pêlos Sensores das Aranhas	55
5.2 - Sistemas Magnetoresistivo	57
5.3 - Princípio da Pele Artificial	58
5.4 - Esquema da Garra de Hill e Sword	59
5.5 - Sistema de Peruchon	60
5.6 - Sensor com Fibras Ópticas	61
6.1 - Esquema Desejável do Sensor	66
6.2 - Primeiro Esboço do Sensor	68
6.3 - Segundo Esboço	69
6.4 - Terceiro Esboço	70
6.5 - Esboço Definitivo do Protótipo	70
6.6 - Demonstração Experimental da Lei de Propagação Retilínea da Luz	73
6.7 - Conceito de Fluxo de Energia Radiante	74

6.8 - Ilustração para Definir o Ângulo Sólido em Coordenadas Polares	77
6.11 - Configuração Básica para Fotoresistor	92
6.12 - Esquema Típico de Configuração Darlington	93
6.13 - Configurações Básicas de Transistores	96
6.14 - Esquema do Circuito para o Fototransistor	97
6.16 - Esquema do Circuito para Amplificador de Corrente Alternada	109
6.17 - Esquema Definitivo do Circuito para a Célula Fotovoltáica	109
6.23 - Curva TXV - Fotoresistor - 2 Hz	133
6.24 - Curva TXV - Fotoresistor - 4 Hz	134
6.25 - Curva TXV - Fotoresistor - 20 Hz	135
6.26 - Curva TXV - Célula Fotovoltáica - 2 Hz	136
6.27 - Curva TXV - Célula Fotovoltáica - 20 Hz	137
6.28 - Curva TXV - Célula Fotovoltáica - 200 Hz	138
6.29 - Curva TXV - Célula Fotovoltáica - 400 Hz	139
8.1 - Esboço Inicial para Futuro Desenvolvimento	144
8.2 - Primeira Simulação da Garra	145
8.3 - Outra Simulação para a Garra do Robô	146

## FOTOS

1.1 - Manipulador de Controle Manual	20
4.2 - Alguns Tipos de Pêlos Sensitivos em Aranhas	46

4.6 - Exemplo de Pêlos Scopula	51
6.9 - Aspectos dos Componentes do 1º Protótipo	81
6.10 - Aspecto Geral do Sistema após Montagem	82
6.15 - Circuito para Fototransistor	106
6.18 - Aspectos dos Componentes do 2º Protótipo	121
6.19 - Aspecto Geral do Sistema após Montagem	121
6.20 - Aspecto da Caixa de Papelão para Suporte dos Componentes em Teste	129
6.21 - Aspecto da Lâmpada Estroboscópica e da Caixa de Papelão	130
6.22 - Aspecto Geral do Experimento	131

## DESENHOS

IX.1 - Câmara da Lâmpada - 1º Protótipo	149
IX.2 - Câmara do Fotoresistor - 1º Protótipo	150
IX.3 - Tampão - 1º Protótipo	151
IX.4 - Embolo - 1º Protótipo	152
IX.4A - Haste Sensora - 1º Protótipo	153
IX.7 - Circuito para Fotoresistor - 1º Protótipo	156
IX.8 - Conjunto - 1º Protótipo	157
IX.8A - Conjunto - 1º Protótipo	158
IX.10 - Circuito para Fototransistor - 2º Protótipo	160
IX.11 - Circuito para Célula Fotovoltáica - 2º Protótipo	161
IX.12 - Câmara da Lâmpada - 2º Protótipo	162

IX.13 - Câmara da Célula Fotovoltáica - 2ª Protótipo	163
IX.14 - Tampão - 2ª Protótipo	164
IX.15 - Êmbolo - 2ª Protótipo	165
IX.15A - Haste Sensora - 2ª Protótipo	166
IX.16 - Conjunto - 2ª Protótipo	167

## TABELAS

IX.5 - Lâmpada	154
IX.6 - Fotoresistor	155
IX.9 - Fototransistor	159
IX.17 - Célula Fotovoltáica	168
IX.18 - Tabela Tensão x Deslocamento - Fotoresistor	169
IX.19 - Tabela Tensão x Deslocamento - Fotoresistor	170
IX.20 - Tabela Tensão x Deslocamento - Célula Fotovoltáica	171

## GRÁFICOS

VI.6 - Tensão x Deslocamento - Fotoresistor	83
VI.7A - Tensão x Deslocamento - Fotoresistor - Geral	85

VI.7B - Tensão x Deslocamento - Fotoresistor - Média	86
VI.7C - Tensão x Deslocamento - Fotoresistor 1. <sup>a</sup> Medição	87
VI.7D - Tensão x Deslocamento - Fotoresistor 2. <sup>a</sup> Medição	88
VI.7E - Tensão x Deslocamento - Fotoresistor 3. <sup>a</sup> Medição	89
VI.16A - Tensão x Deslocamento - Célula Fotovoltáica Geral	123
VI.16B - Tensão x Deslocamento - Célula Fotovoltáica Média	124
VI.16C - Tensão x Deslocamento - Célula Fotovoltáica 1. <sup>a</sup> Medição	125
VI.16D - Tensão x Deslocamento - Célula Fotovoltáica 2. <sup>a</sup> Medição	126
VI.16E - Tensão x Deslocamento - Célula Fotovoltáica 3. <sup>a</sup> Medição	127

LISTA DE SÍMBOLOS  
E ABREVIATURAS

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

B = terminal base do transistor

BVCEO = tensão de ruptura do transistor entre coletor e emissor com base aberta

C = terminal coletor do transistor

E = iluminância

E = terminal emissor do transistor

F = força

i = ângulo

I = corrente elétrica

I<sub>B</sub> = corrente de base do transistor

I<sub>C</sub> = corrente de coletor do transistor

I<sub>E</sub> = corrente de emissor do transistor

I<sub>R</sub> = corrente no resistor

J = intensidade luminosa

L = fonte de luz

n = vetor normal

PC = potência dissipada no transistor

Q = quantidade de energia radiante

r = 1 (para definição de ângulo sólido em coordenadas polares)



$R$  = distância

$R$  = resistência/resistor

$T$  = transistor

$V$  = tensão elétrica

$V_{BE}$  = tensão base-emissor

$V_{CB}$  = tensão coletor-base

$V_{CC}$  = tensão de alimentação

$V_{CE}$  = tensão coletor-emissor

$V_{CF}$  = tensão gerada pela célula fotovoltaica

$V_R$  = tensão aplicada ao resistor

$\beta$  = ganho do transistor

$\theta$  = ângulo

$\pi$  = 3,14

$\sigma$  = superfície

$\tau$  = tempo

$\emptyset$  = fluxo de energia radiante

$\mathcal{C}$  = ângulo

$d\Omega$  = ângulo sólido/seção de superfície

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

#### I.1 - ROBÔS

O termo **robot**,<sup>25</sup> adaptado para o português como robô, surgiu em 1917 numa pequena estória chamada *Opilec*, que significa bêbado, de autoria de Karel Capek, autor checoslovaco. Esta palavra vem do checo **robota**, que significa trabalho obrigatório ou servidão e foi originada no período feudalista quando vassallos deviam trabalho obrigatório aos senhores feudais em troca de um pedaço de terra e alimento. Em 1920, o mesmo Capek publicou na Checoslovaquia uma peça chamada *R.U.R* ou *Rossum's Universal Robots* (Robôs Universais de Rossum) e que foi primeiramente apresentada no Teatro Nacional de Praga em 25 de janeiro de 1921. Nesta peça, um robô é definido como uma máquina humanóide artificial, construída em grandes quantidades em fábricas e vendida como trabalho barato.

Embora a peça de Capek tenha feito aparecer uma série de personagens de autômatos humanóides no cinema e no teatro, o ser humano sempre desejou ter o poder de criar outros seres que pudessem substituí-lo em trabalhos mais pesados.

Através dos tempos foram criados dezenas de brinquedos, ídolos e máquinas mecânicas de aparência humana com diversos propósitos, desde religiosos a puramente experimentais.

Os robôs industriais, cuja aparência nada tem de humana, têm sua origem nos manipuladores mecânicos com controle manual remoto utilizados desde 30, 40 anos atrás, para manipulação de materiais radioativos. A Figura 1.1 abaixo mostra um manipulador mecânico típico, com controle manual remoto.

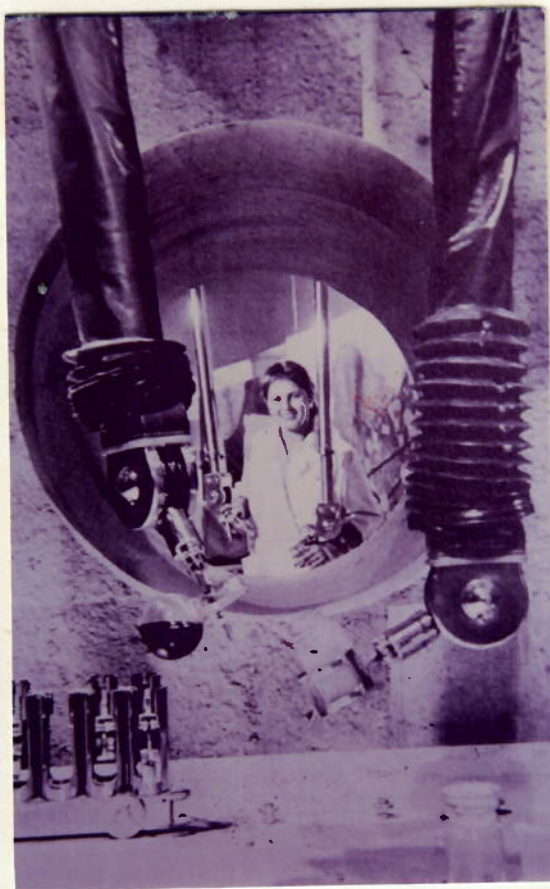


Fig. 1.1 - Manipulador com controle manual remoto para movimentação de materiais perigosos

## I.2 - ROBÔS INDUSTRIAIS

Durante os anos 50 surgiram os primeiros sistemas robotizados eletromecânicos com realimentação. A aplicação de controles eletrônicos foi, durante este período, custosa e ineficiente dada a lentidão do processamento dos computadores da época.

Um dos primeiros robôs de aplicação prática foi apresentado em 1955 pela empresa Planet<sup>15</sup> para utilização em movimentação de fundidos quentes e era reprogramável. Também durante este período Joseph Engelberger e George Devol começaram, juntamente, a trabalhar no desenvolvimento de um robô industrial prático. Em 1961 a empresa fundada por estes dois pesquisadores, considerados os "pais" da robótica industrial, e denominada Unimation, Inc. lançou o seu primeiro robô industrial "on line" numa aplicação em fundição. O desenvolvimento de sistemas de controle linear e o advento dos microprocessadores resultaram por popularizar a aplicação dos robôs industriais.

## I.3 - DEFINIÇÃO DE ROBÔ

De acordo com o Robot Institute of America<sup>1</sup> "um robô é um manipulador multifuncional e reprogramável, desenhado para

mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especiais, mediante movimentos programáveis e variáveis que permitam realizar tarefas diversas". Esta definição é bastante rígida e exclui uma série de máquinas comumente tidas como robôs como, por exemplo, robôs ambulantes e robôs do tipo amo-escravo (equipamentos cuja movimentação é controlada diretamente por um operador humano).

Angulo<sup>2</sup> apresenta uma classificação de robôs e manipuladores que pode ser usada para a definição dos equipamentos, como mostrado a seguir:

- 1) Robôs inteligentes: são manipuladores ou sistemas mecânicos multifunção controlados por computador, capazes de se relacionar com o ambiente através de sensores e de tomar decisões em tempo real. Sua aplicação é função direta do desenvolvimento da inteligência artificial.
- 2) Robôs com controle por computador, similares aos do grupo anterior, mas não possuem capacidade de relacionamento com o ambiente.
- 3) Robôs de aprendizagem: se limitam a repetir uma sequência de movimentos realizada por um operador humano e memorizada.

4) Manipuladores: são sistemas mecânicos multifunção cujo sistema de controle governa os movimentos dos elementos do manipulador das formas seguintes:

- Manual, quando o operador controla diretamente o manipulador;
- De seqüência variável, quando é possível alterar algumas características dos ciclos de trabalho.

No Japão os quatro tipos acima são considerados robôs, mas na Europa e EUA os manipuladores não são assim considerados. Somente em casos especiais os manipuladores de seqüência variável são considerados robôs.

#### I.4 - CONFIGURAÇÃO DE UM ROBÔ

Conforme exposto no item I.3 - DEFINIÇÃO DE ROBÔ, o que distingue um robô de outros equipamentos é sua característica multi-funcional. Esta característica exige que os robôs possuam uma configuração complexa. Segundo Coiffet,<sup>6</sup> pode-se identificar quatro partes interativas, conforme segue:

- Manipulador equipado com atuadores: o manipulador pode ser, por exemplo, um sistema mecânico articulado. As diversas articulações são controladas por atuadores elétricos, hidráulicos, pneumáticos ou mecânicos.
- Ambiente: o local onde atua o robô, não só definido por considerações geométricas mas sim por todas as propriedades físicas e pela totalidade dos elementos que este ambiente contém. A natureza e o comportamento de um determinado robô dependem das características do ambiente onde ele está localizado e também da interação entre este robô e suas cercanias.
- Tarefa: a tarefa pode ser definida como a diferença entre o ambiente antes da execução da tarefa e após a conclusão da mesma. A tarefa deve ser descrita, para o robô, em linguagem apropriada.
- Computador ou "cérebro": parte do robô responsável pelos sinais de controle que ativam as articulações do robô de acordo com informações prévias sobre a tarefa a ser realizada e posteriores sobre o robô e seu ambiente.

Para que o sistema opere, o computador é suprido com informações relativas ao modelo do robô, seu ambiente, tarefas a serem executadas e uma série de algoritmos de controle. Quan-



do em operação o computador recebe informações sobre o robô (informações internamente obtidas) e sobre o ambiente (informações externamente obtidas). O trabalho coordenado de todos os componentes do robô e a aplicação de algoritmos e das informações obtidas interna e externamente permitem a realização das tarefas. A Figura 1.2 esquematiza o funcionamento desta configuração de robô.

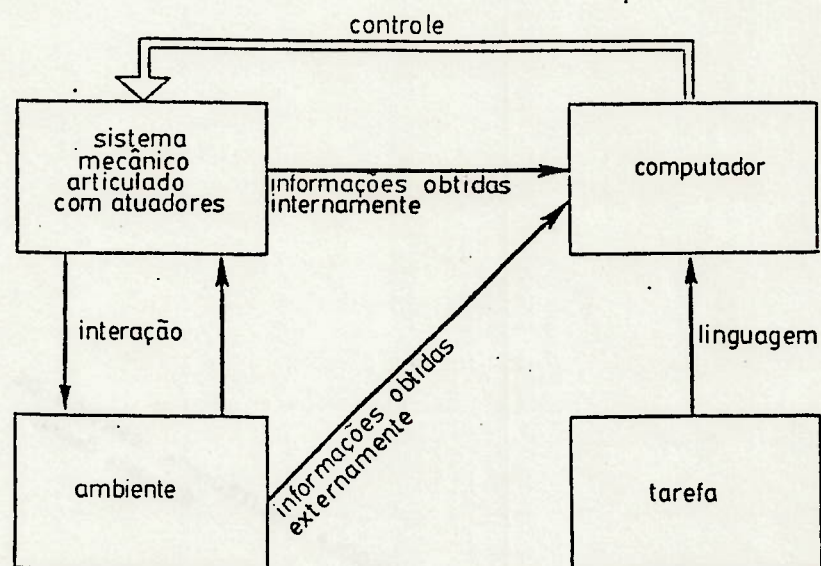


Fig. 1.2 - Configuração de um robô em operação

De uma maneira geral um robô pode ser dividido em três partes, isto é, manipulador, controle e sistemas sensitivos, conforme a configuração apresentada por Angulo.<sup>3</sup>

O manipulador, neste caso, é a parte mecânica do robô, composta por:

- vários elementos, rígidos numa primeira análise, ligados entre si por uniões que permitem movimento relativo entre os elementos;
- dispositivos de agarramento e posicionamento capazes de prender, posicionar e operar as peças manipuladas. Em alguns casos, em lugar do dispositivo de agarramento, que será identificado ora em diante por "garra", se aplicam ferramentas adequadas às operações que serão realizadas;
- sistemas motores elétricos, hidráulicos ou pneumáticos que imprimem movimento aos vários elementos do manipulador.

O controle, como na configuração apresentada por Coiffet<sup>6</sup> constitui-se, basicamente, do computador ou "cérebro", que é responsável pelo processamento dos sinais controladores que ativam, coordenadamente, todos os atuadores do robô.

Os sistemas sensitivos são responsáveis pela interação do robô com seu ambiente, disponíveis em vários tipos diferentes, dentre os quais se destacam os sonoros, de visão, ambos considerados remotos e, finalmente, os de força ou de contato.

Neste último grupo encontram-se os de fato, objeto deste trabalho.

## I.5 - JUSTIFICATIVA PARA O TRABALHO

### I.5.1 - Estado Atual

A aplicação<sup>7</sup> dos robôs tem tido áreas preferenciais que têm obtido benefícios pelo rápido desenvolvimento dos sistemas robotizados. Os principais são:

#### 1) Produção

A aplicação da automação à produção tem levado a uma melhor qualidade de produto e produção mais rápida. O desenvolvimento futuro da automação está voltado a uma manufatura mais flexível;

#### 2) Operações Perigosas

Os robôs têm sido usados na manipulação de materiais perigosos para o ser humano;

### 3) Ajuda Individual

Os robôs têm sido usados em substituição ao ser humano em tarefas cansativas ou em ajuda à pessoas com problemas físicos.

Não importando a função dos robôs, as operações são diretamente relacionadas à natureza e qualidade da informação que é fornecida ao computador de controle. Há então, dois tipos principais de robôs:

- aqueles que realizam tarefas, sem o uso de informações externas. Estes robôs têm todas as informações previamente fornecidas e desprezam o ambiente e suas alterações;
- aqueles que, apesar de possuírem informações previamente gravadas, têm também suas operações baseadas em informações originadas no ambiente.

O segundo caso está relacionado aos robôs inteligentes, que podem entender um problema, resolvê-lo e aplicar uma solução apropriada, começando com informações incompletas ou utilizando informação processada pelo computador e obtida, basicamente, no ambiente.

Os robôs industriais atuais, em geral, não possuem

estas características, limitando-se a somente reproduzir uma série de movimentos e operações pré-estabelecidas.

#### I.5.2 - Tendências de Pesquisas Atuais

O desenvolvimento da automação e o aperfeiçoamento da manufatura flexível têm direcionado a pesquisa para quatro linhas básicas:

- a) desenvolvimento de robôs que possuem somente um simples motor e um grau de liberdade, mas são capazes de gerar, para a garra, trajetórias mais complexas que a linha reta ou o círculo. Estes sistemas, através da ação de componentes extensíveis, podem realizar famílias de trajetórias similares usando somente uma estratégia de controle;
- b) melhoramento na precisão, velocidade e capacidade de aprendizagem dos robôs;
- c) melhoramento da adaptabilidade dos robôs às linhas de produção existentes;
- d) implantação de um poder de decisão autônomo para os robôs, isto é, a capacidade de iniciar a ação e

aprender em relação a condições externas. Estas condições são sentidas, decodificadas e processadas pelo computador a partir de sensores artificiais. Tais sensores procuram imitar os sensores naturais e incluem dispositivos acústicos, em que o robô "ouve" instruções orais dos operadores visuais, em que o robô "percebe" o posicionamento e a forma de objetos numa aproximação mais geral, não muito precisa, e táteis, quando o robô após ter a garra tocado o objeto, consegue, com precisão, detectar a forma da peça tocada, orientando-a adequadamente à posição de execução da tarefa.

É esta última linha de pesquisa que tem permitido um avanço considerável na interação robô-ambiente, visando o desenvolvimento futuro da inteligência artificial, aplicada aos robôs, até um nível de eficiência que permita sua aplicação ampla em linhas de produção. Atualmente, a aplicação de robôs inteligentes em produção tem ainda esbarrado na ineficiência, ou seja, velocidade baixa e desempenho inadequado dos sistemas presentes.

Dentro dessa gama possível de pesquisa, é objeto deste trabalho iniciar o desenvolvimento de um sistema de sensoriamento tátil para utilização futura em sistemas de reconhecimento de forma.

CAPÍTULO II

OBJETIVO

## CAPÍTULO II

### OBJETIVO

#### II.1 - OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sensor que possa, quando aplicado em uma garra de robô, identificar a forma de objetos diversos através de tato.

Não é objetivo deste trabalho a construção de um equipamento definitivo mas, sim, deseja-se construir um protótipo que permita avaliar o princípio de funcionamento do sensor.

O trabalho não pretende, portanto, que este protótipo seja de precisão, servindo, então, apenas como base para futuros desenvolvimentos.

#### II.2 - METODOLOGIA ADOTADA NO PROJETO

Conforme será exposto nos capítulos próximos, a metodologia adotada neste trabalho foi a seguinte:



- a) análise dos sistemas de tato encontrados nos seres humanos e em alguns animais;
- b) análise de alguns sistemas-tipo de garras e sensores de tato para robôs;
- c) desenvolvimento e construção de um protótipo;
- d) análise dos resultados do protótipo.

CAPÍTULO III  
O SISTEMA HUMANO

## CAPÍTULO III

### O SISTEMA HUMANO

#### III.1 - COMENTÁRIOS

O sistema nervoso<sup>9</sup> coordenador de todas as atividades orgânicas, integra sensações e idéias, conjuga fenômenos de consciência e adapta o organismo às condições do momento. É formado por elementos altamente diferenciados em excitabilidade e condutibilidade, as células nervosas (neurônios) que constituem as vias centrípetas, os centros nervosos e as vias centrífugas. As vias centrípetas, aferentes ou sensitivas, conduzem impulsos originados em receptores, corpúsculos especializados e terminações livres, da região estimulada até os centros nervosos. Destes, outros impulsos são conduzidos, em sentido inverso, pelas vias centrífugas, eferentes ou motoras, para os órgãos de resposta, os efetores, isto é, tecido muscular e glandular. Os centros nervosos situam-se no neuro-eixo, encéfalo e medula espinal, contido na caixa craniana e canal vertebral. As vias aferentes e eferentes localizam-se, em parte, no neuro-eixo, como as vias ascendentes e descendentes, e, fora dele, são representadas por nervos e gânglios (conectores que fazem o interfaceamento de sinais). Erhart<sup>9</sup> esquematizou o funcionamento do sistema nervoso humano (Figura 3.1).

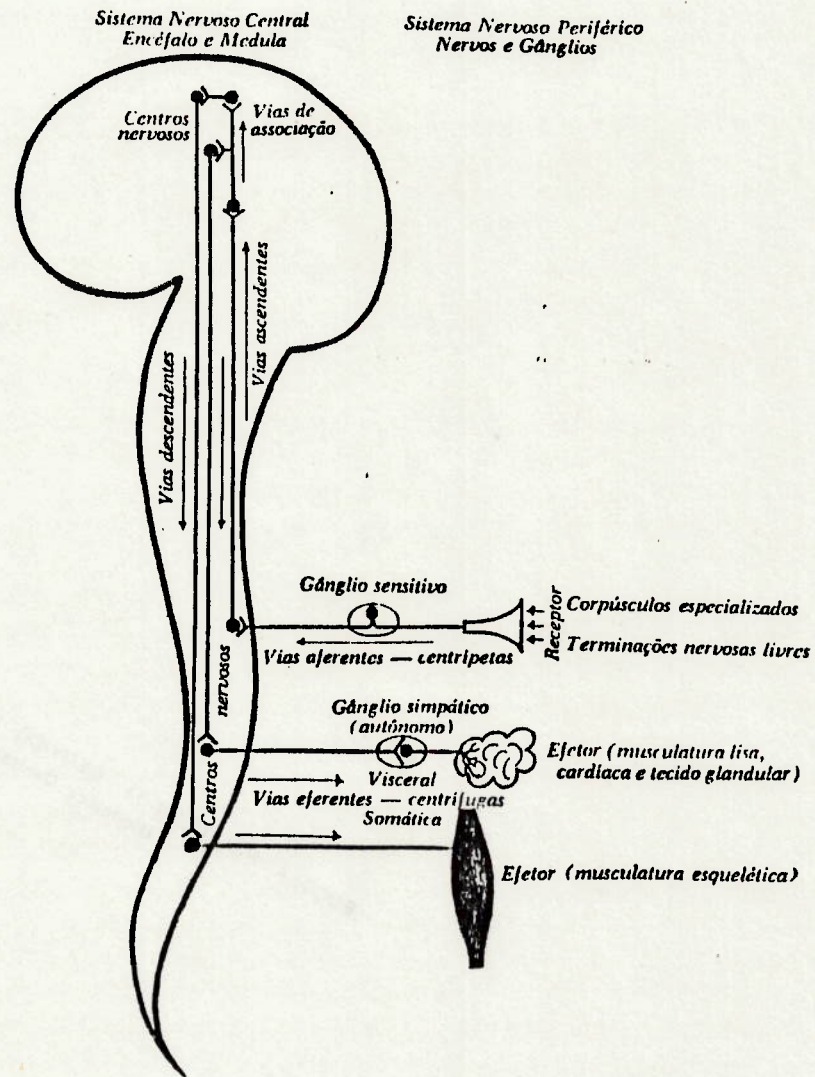


Fig. 3.1 - Esquema de Funcionamento do Sistema Nervoso Humano

É interessante conhecer mais detalhadamente os sensores humanos.

Beçak<sup>4</sup> apresenta um esquema de terminações nervosas, presentes na pele humana, com suas funções básicas (Figura 3.2).

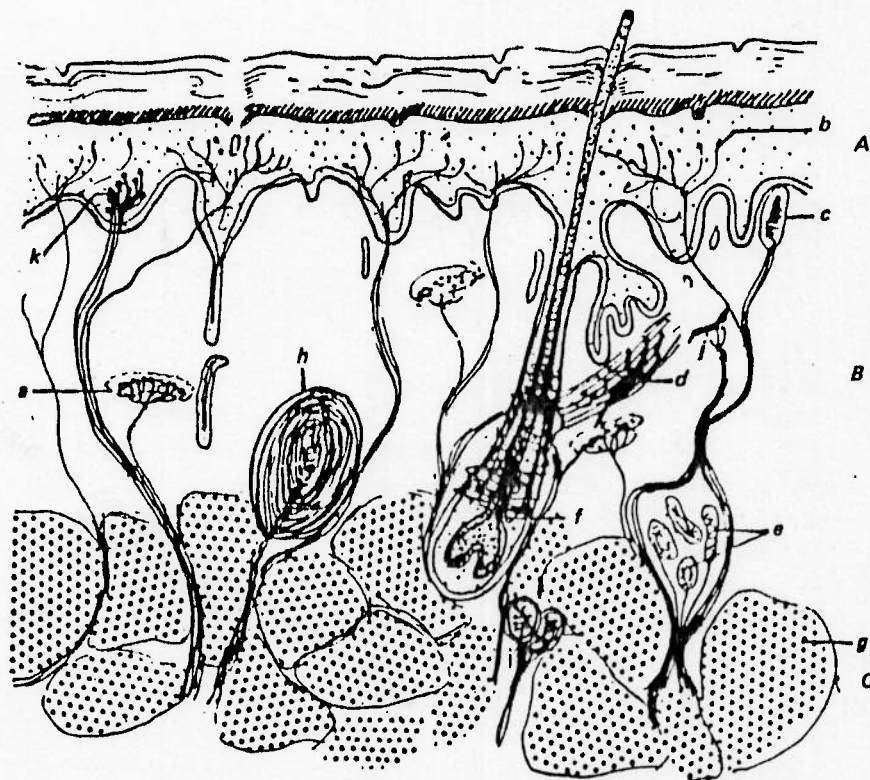


Fig. 3.2 - Esquema de Terminações Nervosas

Identificação:

- A) - Epiderme
- B) Derme
- C) Tecido Conjuntivo Subcutâneo

- a) Corpúsculo de Rufini (calor);
- b) Terminações Sensitivas Livres (dor);
- c) Corpúsculo de Meissner (tato);
- d) Inervação Motora de um Músculo Eretor do Pêlo;
- e) Terminações Excito-secretoras duma Glândula Sudorípara;
- f) Terminações Nervosas ao Redor de um Folículo Piloso;
- g) Lóbulo Adiposo;
- h) Corpúsculo de Vater-Pacini (pressão);
- i) Corpúsculo de Golgi-Mazzoni (pressão);
- j) Terminação Nervosa ao Nível dos Vasos;
- k) Corpúsculo de Krause (frio).

Neste trabalho serão analisados brevemente, os sensores de tato existentes na pele humana, isto é, os corpúsculos de Meissner, Vater-Pacini, Golgi-Mazzoni e as terminações nervosas ao redor dos folículos pilosos.

Os corpúsculos de Meissner são órgãos de tato, mais ligados à percepção de rugosidade e podem ser encontrados nas mãos, pés, lábios e outras regiões superficiais do corpo humano.

Os corpúsculos de Vater-Pacini estão relacionados à sensação de pressão e com as alterações de tensão decorrentes dos movimentos e de estados patológicos (inflamações, compressões viscerais, distensões abdominais). São encontrados, com maior frequência, nas mãos e pés e, também, nos tendões, septos intermusculares, articulações, periósteo, peritônio, pleura e pericárdio.

Os corpúsculos de Golgi-Mazzoni estão localizados na junção músculo-tendão e se comportam como sensores de força e participam no controle da tensão muscular.

As terminações nervosas ao redor dos folículos pilosos desencadeiam impulsos quando os pêlos são tocados.

Os sensores de tato mais interessantes para este trabalho, em realidade, localizam-se nas mãos, isto é, os corpúsculos de Meissner e de Vater-Pacini. O ser humano, então, utiliza, desde a mais tenra idade, suas mãos como ferramenta para identificar formas e rugosidade das superfícies.

De fato, Guillardme<sup>14</sup> divide a evolução psicomotora da criança em quatro fases distintas, a saber:

- 1) A **marcha e a locomoção**, iniciadas no recém-nascido e concluídas aos 12 anos, aproximadamente, com realizações motoras precisas e hábeis.
- 2) A **lateralização** que, durante a evolução do indivíduo, se faz notar pela habilidade progressivamente maior de um lado do corpo, isto é, este fator é mais facilmente notável no que diz respeito à habilidade manual (indivíduo destro ou canhoto).
- 3) O **esquema corporal**, que é a descoberta das particularidades do corpo e de sua importância para o indivíduo.
- 4) A **preensão** e seu aperfeiçoamento progressivo que marcam a evolução da criança que se apodera do meio. Para que esta atividade sobre os objetos possa desenvolver-se de maneira satisfatória, é necessária a presença de algumas condições básicas. A principal é a coordenação óculo-motora. No início, a criança olha sobre a mão e, pouco a pouco, consegue segui-la. Tenta, a seguir, manter a mão dentro do campo visual; posteriormente, consegue apreender o objeto que vê mexer-se, mas apenas quando se situa



num campo que inclui também sua mão. Finalmente, a posteriori, a criança consegue pegar o objeto que vê, seja qual for a posição de sua mão.

Todo o trabalho de apreensão, reconhecimento e memorização de formas é extremamente complexo e tem, como dispositivos notadamente importantes, as mãos e todo o sensoriamen-  
to de tato nelas contido.

CAPÍTULO IV

ALGUNS EXEMPLOS DA NATUREZA

## CAPÍTULO IV

### ALGUNS EXEMPLOS DA NATUREZA

#### IV.1 - COMENTÁRIOS

A natureza apresenta um número enorme de sensores de tato, no reino animal ou vegetal, sempre incluídos, cientificamente, no grupo dos chamados mecanoreceptores.

Os mamíferos, de um modo geral, têm sensores de tato similares aos do ser humano e não diferem radicalmente das aves e répteis.

Alguns vegetais, por sua vez, possuem sensores de tato voltados a funções bastante limitadas, dada sua imobilidade, mas os insetos, atuantes como verdadeiras ferramentas naturais, possuem diversos sensores, incluindo-se aí os de tato. Neste trabalho, examinaremos alguns desses sensores de tato das minhocas e aranhas, basicamente similares em todos os invertebrados.

#### IV.2 - MINHOCAS

Os invertebrados de corpo não rígidos como as minhocas<sup>18</sup> (anelídios) possuem cílios que passam através da cutí-

cula e projetam-se para fora do animal. Na lombriga há dois tipos de células sensoriais com cílios. Não estão ainda definidos quais destes tipos de células, se não os dois, que respondem ao tato e à estimulação química. Não se sabe também se as células sensoriais são células primárias com ligação direta ao sistema nervoso central ou se as células sensoriais são receptores secundários com conexão ao sistema nervoso central através de um neurônio sensorial.

O sensoriamento de tato é, provavelmente, auxiliado por terminações não especializadas, localizadas na superfície do corpo. A Figura 4.1 esquematiza os dois tipos de célula da minhoca.

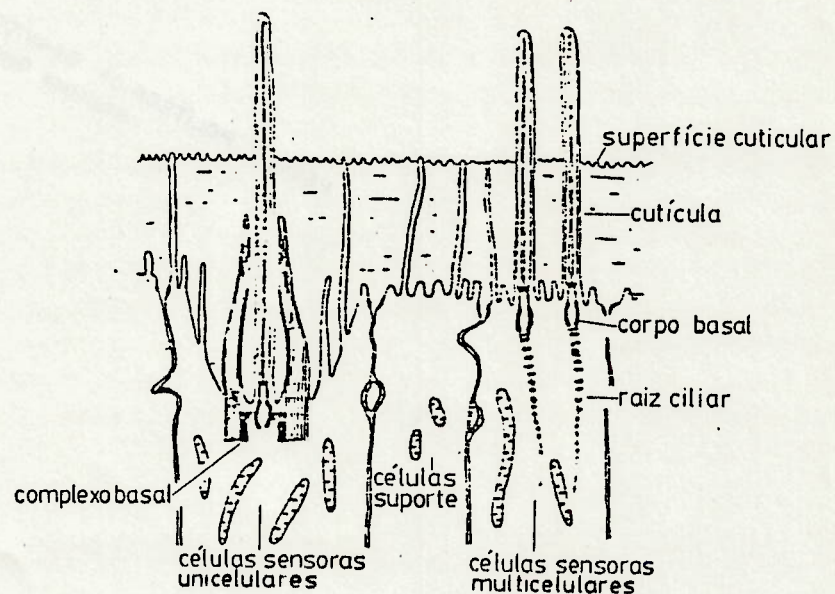


Fig. 4.1 - Diagrama da seção longitudinal de uma célula sensorial uniciliar e multi-ciliar e células coligadas na minhoca

#### IV.3 - ARANHAS

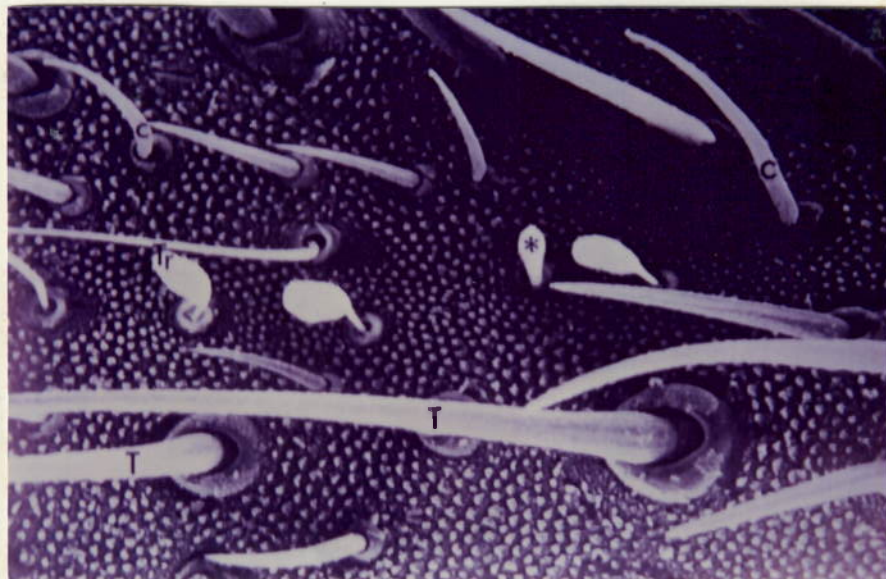
As aranhas não têm antenas mas têm a maior parte de seus órgãos sensoriais em suas extremidades. São animais em geral notívagos e que possuem algumas particularidades em seus hábitos. Processos de acasalamento, de detecção e identificação de presas e de defesa são sempre baseados nos mecano e quimiorreceptores, cuja forma básica é o pêlo sensitivo. Neste trabalho analisaremos apenas os mecanorreceptores, os quais incluem os pêlos tâteis, os trichobothria, os sensores de fenda e os receptores nas juntas e, dentre estes, os dois primeiros parecem os mais promissores.

Os sensores de fenda atuam na detecção das forças mecânicas exercidas sobre o corpo das aranhas e os receptores nas juntas são os sensores que alimentam o sistema nervoso central com informações sobre o posicionamento relativo de cada ponto do corpo animal.

A presença de pêlos nas aranhas é a razão mais provável para a aparência repulsiva destes invertebrados, mas de sua atuação depende a sobrevivência da aranha. Aos pêlos tâteis e trichobothria adicionaremos os pêlos scopula em nossa análise.

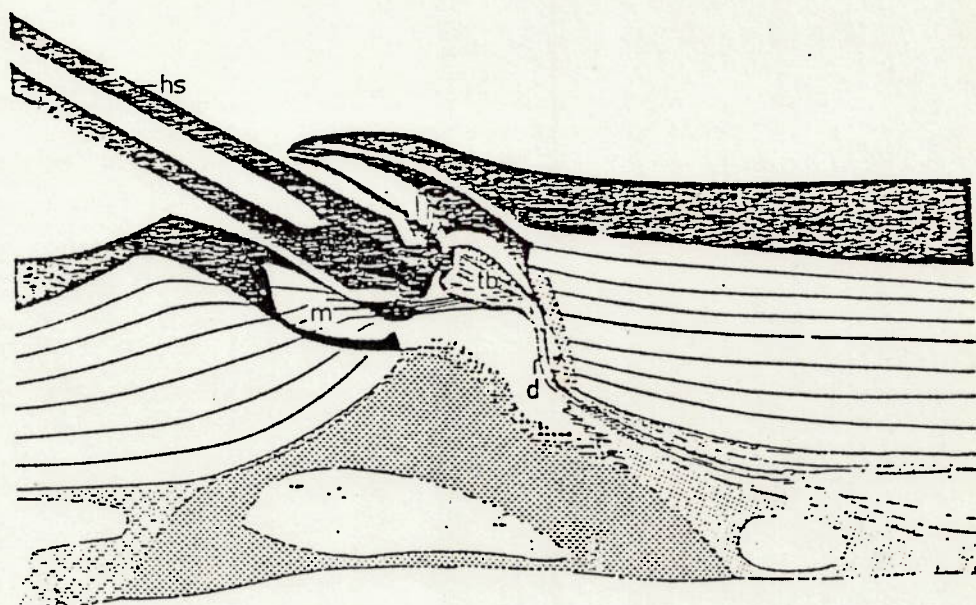
#### IV.3.1 - Pêlos Táteis

Embora os pêlos mecanorreceptores dos aracnídeos apresentem grande variação em tamanho e forma, algumas características são comuns, isto é, todos possuem um eixo cuticular oco, suspenso e móvel em um encaixe por uma membrana articulável, e também diversas células sensoriais, cujas ramificações são ligadas à base do eixo do pêlo. Uma enervação múltipla é típica em mecanorreceptores de aracnídeos (tripla nas aranhas), se bem que pêlos táteis em insetos possuem enervação simples. Foelix<sup>12</sup> apresenta, nas Figuras 4.2 e 4.3, alguns aspectos desses pêlos táteis.



(T: pêlos táteis; C: pêlos gustativos; Tr: Trichobothria; \*: pêlos de função desconhecida; aumento: 350 X)

Fig. 4.2 - Alguns tipos de pêlos sensitivos em aranhas



(hs: eixo; m: membrana articulável; d: ramificações; tb: corpos tubulares)

Fig. 4.3 - Esquema longitudinal de um pêlo tátil de uma aranha

As ramificações terminais sempre terminam próximas à base do pêlo e contém um corpo tubular característico. Esta estrutura consiste de microtubos (corpos tubulares) bastante compactados, que são usualmente interconectados por uma substância eletrolítica. Este corpo tubular é considerado o interfaceamento sensorial no inseto.

Há milhares de pêlos táteis espalhados no corpo das aranhas e pode ser difícil imaginar que cada um deles seja

realmente um sensor. Entretanto, Foelix<sup>10</sup> registra que análises histológicas demonstram que todos os pêlos grandes, móveis, articulados, são dotados de enervação tripla. Os pêlos curtos e os scopula não têm enervação.

A presença da enervação demonstra que os pêlos táteis são realmente órgãos sensoriais e o simples toque de um deles pode desencadear uma reação do animal como fuga ou agressão.

Embora haja a tripla enervação, os pêlos táteis demonstram maior sensibilidade quando movidos para baixo ao redor de sua articulação. Possuem menor sensibilidade, no entanto, quando movidos em outras direções.

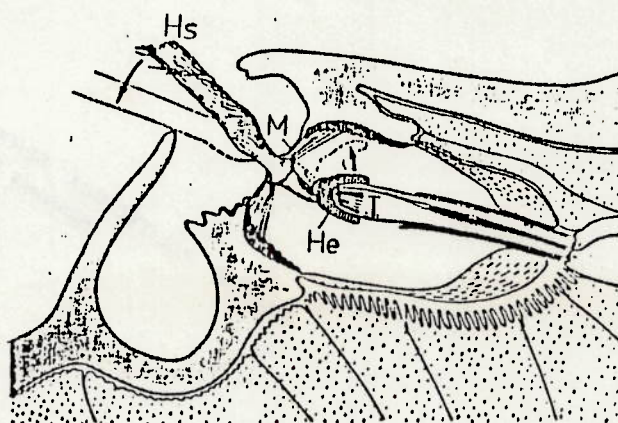
#### IV.3.2 - Pêlos Trichobothria

Os pêlos trichobothria - do grego *trichos* (cabelo) e *bothros* (corte/serrilhado) - são pêlos filiformes, extremamente finos, possuidores de articulações especiais. Embora tenham estrutura similar aos pêlos táteis, os trichobothria são menos numerosos e estão usualmente distribuídos regularmente em determinados segmentos das pernas das aranhas.

A característica mais interessante dos trichobothria



é sua extrema sensibilidade. O longo e fino pêlo é suspenso por uma membrana cuticular articulável, de forma que a mais fina corrente de ar possa fazer o pêlo fletir. Foelix<sup>11</sup> registra que há, diferentemente dos pêlos tãteis, quatro ramificações terminais nervosas conectadas à cada trichobothrium e três destas terminações têm sensibilidade direcional. A Figura 4.4 apresenta o esquema de um trichobothrium.



(HS: eixo; M: membrana articulável; T: ramificações; He: base)

Fig. 4.4 - Disposição esquemática de um pêlo trichobothrium

As quatro ramificações terminais são conectadas a uma estrutura especial, a base do pêlo, e cada uma das três células sensoriais responde a deslocamentos dentro de um determinado setor circular e há pequeno ou nenhum espaço entre estes setores, como mostra Foelix<sup>11</sup> na Figura 4.5.

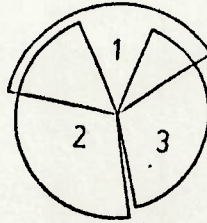


Fig. 4.5 - Diagrama de sensibilidade direcional de um pêlo trichobothrium em relação ao deslocamento do eixo do mesmo nos setores 1, 2 e 3

No meio ambiente os estímulos para os trichobotria são, normalmente, as correntes e vibrações aéreas de baixa frequência.

As vibrações, por exemplo, causadas pelas asas de um inseto voador são suficientes para disparar uma resposta de captura direcionada.

Com este sistema, mesmo uma aranha totalmente cega pode localizar precisamente um inseto voador, segundo Foelix,<sup>14</sup> distante vários centímetros.

#### IV.3.3 - Pêlos Scopula

Os pêlos scopula (do latim vassoura) são, em realidade, órgãos adesivos, muitas vezes chamados de pêlos de fixação. São eles que possibilitam à algumas aranhas andarem facilmente em superfícies verticais ou lisas. Cada pêlo assemelha-se a uma escova em miniatura, com cerca de 1000 extensões cuticulares que agem como pontos de adesão com a superfície.

Os pêlos scopula verdadeiros estão restritos às extremidades externas das pernas, conforme Foelix;<sup>13</sup> a Figura 4.6 mostra um exemplo desse scopula.



Fig. 4.6 - Exemplo de pêlos scopula.  
Cerca de 200 pêlos scopula são mostrados em vista vertical.  
Aumento: 250 x

Até recentemente acreditava-se que estes pêlos não tinham qualquer enervação, mas sabe-se, atualmente, que a maioria dos pêlos scopula são supridos por um neurônio sensorial, o que demonstra que os mesmos não servem apenas como órgãos de adesão mas, também, fornecem uma resposta ao animal após ter sido realizado o contato.

Algumas aranhas, entretanto, apresentam estruturas de pêlos, similares aos scopula, porém localizados na superfície inferior do último e até do penúltimo segmento de suas pernas. Estes pêlos são utilizados, aparentemente, na captura de presas, auxiliando a aranha a controlar presas maiores e resistentes. Imediatamente antes de segurar a presa, estes falsos pêlos scopula são ativados hidraulicamente.

CAPÍTULO V

CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES SOBRE  
O SISTEMA A SER ADOTADO

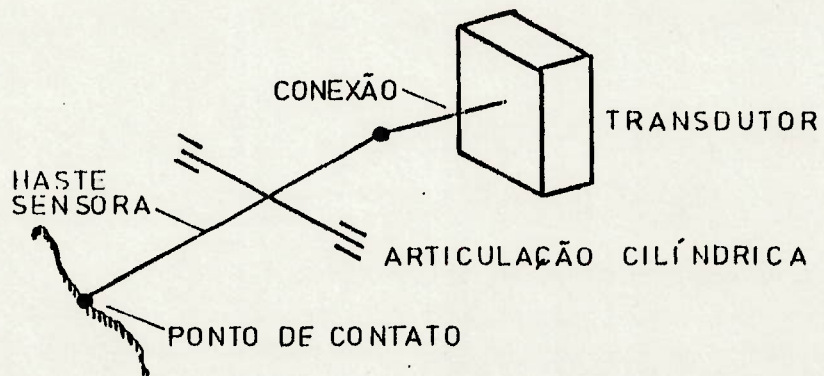
CAPÍTULO V  
CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES  
SOBRE O SISTEMA A SER ADOTADO

V.1 - COMENTÁRIOS PRELIMINARES

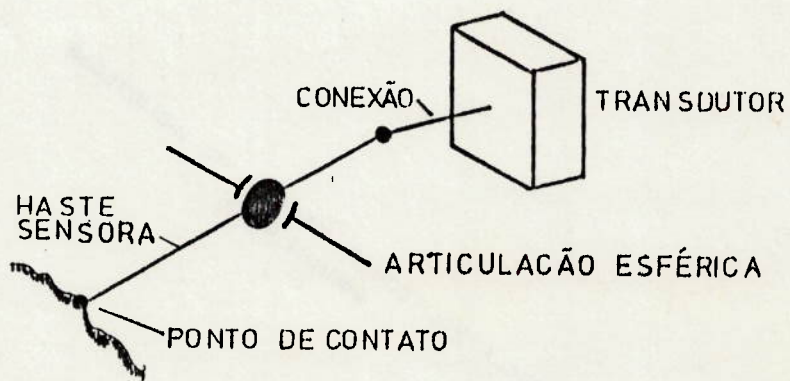
O sistema humano, assim como o dos vertebrados, tem, geralmente, sensores que são, de alguma forma, levados e ajustados na posição correta para o sensoriamento. É o caso da preensão que, como abordado no Capítulo III, desenvolve-se nas mãos e conta com células nelas localizadas para a sensação de tato. Percebe-se facilmente a impossibilidade de se reconhecer formas de objetos em pontos do corpo, fora das mãos. Os corpúsculos de Meissner e de Vater-Pacini, localizados nas mãos, o formato destas e a movimentação que o ser humano realiza, independentemente do registro óptico, permitem que seja percebida a forma precisa do objeto tocado.

As aranhas possuem, como exposto no Capítulo IV, três sistemas básicos que, como formas mecânicas básicas, estão ilustradas a seguir:

## a) Pêlos táteis



## b) Pêlos Trichobothria



## c) Pêlos Scopula

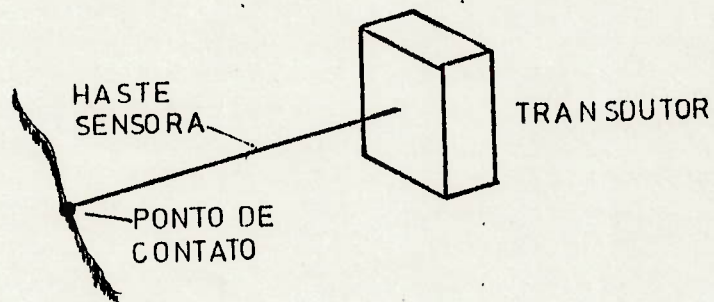


Fig. 5.1 - Esquemas dos pêlos sensores das aranhas

É fácil perceber a simplicidade que o sistema de pêlos scopula inspira e, portanto, parece promissor adotar, numa análise preliminar, este sistema, similar a um apalpador que é afetado pela variação das formas sem estar especialmente posicionado para a recepção dos estímulos. Em realidade, numa tentativa de mecanização, ambos os esboços baseados nos pêlos táteis e trichobothria sugerem a utilização de sistemas razoavelmente complexos de articulação, conexão e de processamento dos sinais do transdutor, uma vez que o transdutor e o ponto de contato estão totalmente desalinhados.

Parece realmente mais factível o sistema baseado nos pêlos scopula e que será adotado daqui em diante.



V.2 - ALGUNS SISTEMAS EXISTENTES DE SENSORIAMENTO DE TATO  
PARA ROBÔS

V.2.1 - SISTEMA MAGNETORESISTIVO<sup>23</sup>

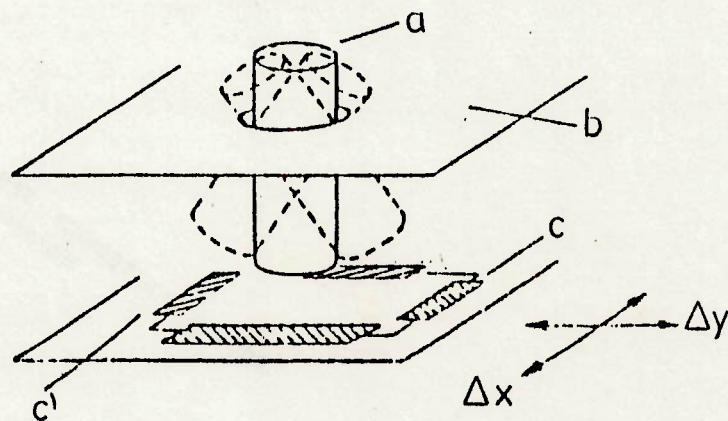


Fig. 5.2 - Sistema Magnetoresistivo

Neste sistema um bastão magnético (a) é articulado na abertura de uma placa de aço inoxidável (b). A diferença na resistência dos pares opostos detetores (cc'), que são "chips" magnetoresistivos, indicam o deslocamento angular do bastão.

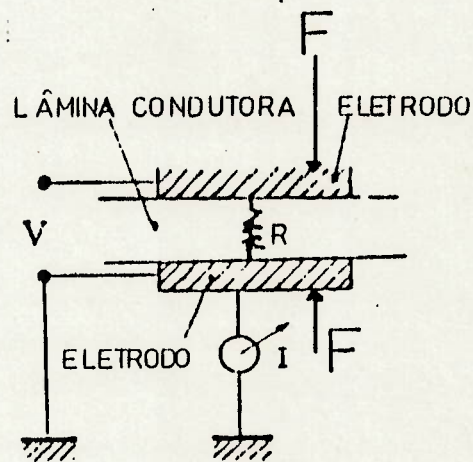
V.2.2 - PELE ARTIFICIAL<sup>8</sup>

Fig. 5.3 - Princípio da pele artificial

Neste sistema uma lâmina condutora deformável é colocada entre dois eletrodos. Se uma tensão  $V$  é aplicada entre os eletrodos, uma corrente  $I$  flui através da lâmina condutora. Se a distância entre os eletrodos diminuir, como, por exemplo, quando ocorre aplicação da força ( $F$ ), a resistência da lâmina condutora diminuir e  $I$  aumenta.

V.2.3 - GARRA DE HILL E SWORD<sup>8</sup>

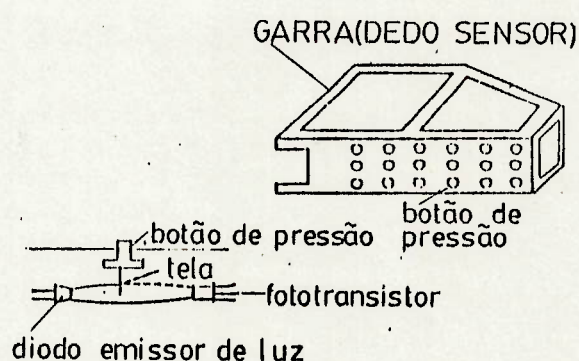


Fig. 5.4 - Esquema da Garra de Hill e Sword

A Fig. 5.4 mostra um dos dois "dedos" que compõem a Garra de Hill e Sword. Neste sistema cada "dedo" possui dezoito botões sensitivos ligados, cada um deles, a uma tela móvel. Ao ser tocado o objeto empurra o botão que move a tela interferindo no feixe de luz que um LED (Light Emission Diode) faz incidir num transistor foto-transmissor. Este sistema controla a força de agarramento e fornece ao robô alguma informação sobre a forma do objeto.

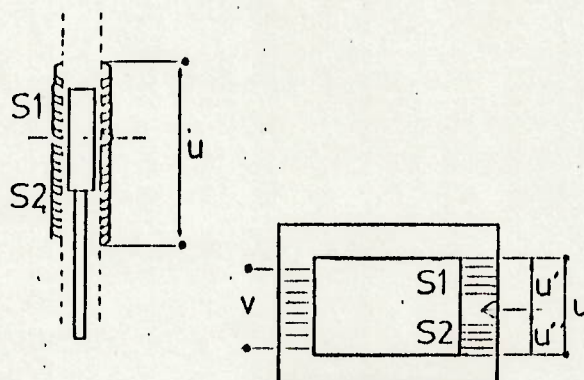
V.2.4 - SENSOR DE PERUCHON<sup>8</sup>

Fig. 5.5 - Sistema de Peruchon

O sistema Peruchon possui uma matriz de 64 agulhas, similares à mostrada na Fig. 5.4. A posição das agulhas é medida através de um transformador diferencial formado por um bastão de material magnético, solidário à agulha, que se desloca no interior de um tubo onde há duas bobinas alimentadas em oposição. A voltagem é, então, proporcional à diferença no número de espirais intersectadas pelo elemento magnético.

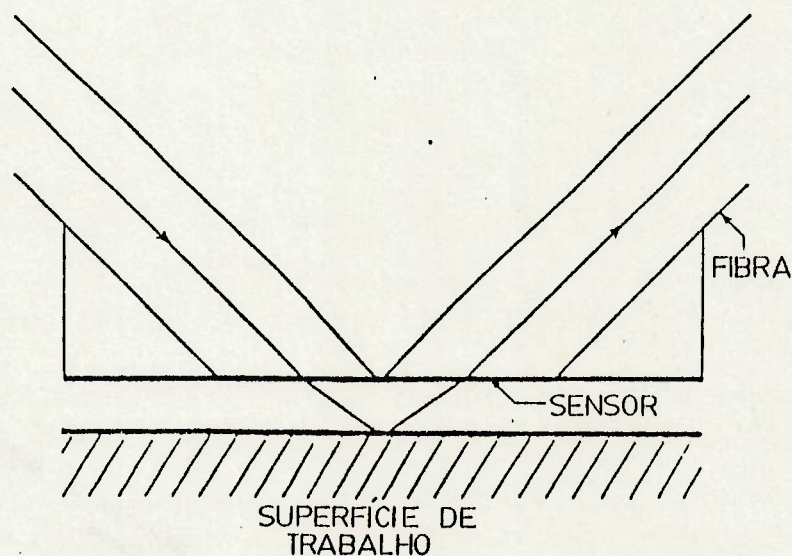
V.2.5 - SENSOR COM FIBRAS ÓPTICAS<sup>24</sup>

Fig. 5.6 - Sensor com fibras ópticas

Neste sistema, uma fibra óptica (emissora) faz incidir luz numa superfície refletiva. Uma outra fibra recebe a luz refletiva (coletora).

A quantidade de luz refletida depende da distância entre as extremidades das fibras e a superfície refletiva. Este sensor, com algumas adaptações, pode ser utilizado como sensor de proximidade ou como detetor de forma.

### V.3 - COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O SISTEMA A SER UTILIZADO

Seguindo o que foi abordado no item V.1 parece interessante utilizar um sistema tipo apalpador, princípio dos pêlos scopula das aranhas.

O sistema magnetoresistivo<sup>23</sup> (item V.2.1) exige, pela sua própria natureza construtiva, algumas adaptações pois trabalha diferentemente de um apalpador.

O sistema de pele artificial<sup>8</sup> (item V.2.2) também é radicalmente diferente de um apalpador e consegue detetar pressão em função da deformação da lâmina condutora. Não parece adaptável a sensoriamento de grandes diferenças de forma.

O dispositivo sensor de tato existente na garra de Hill e Sword<sup>8</sup> (item V.2.3) é bastante interessante para aplicação neste trabalho, mas sua característica funcional permite detetar apenas pequenas variações na forma do objeto tocado. Adicionalmente este sistema gera acúmulo de peso na garra do Robô, comprometimento não desejado no protótipo em desenvolvimento.

O sensor de Peruchon<sup>8</sup> (item V.2.4) é realmente um apalpador mas traz o inconveniente de concentrar peso na garra do

robô pois seu transdutor é magnético.

O sensor com fibras ópticas<sup>24</sup> (item V.2.5) possui vantagens, aparentemente, em relação aos outros sensores pois o emissor de luz e o transdutor podem estar localizados fora da garra do robô, portanto com alívio de peso da mesma, mas a eficiência deste sensor depende também das características ópticas da superfície do objeto tocado.

CAPÍTULO VI  
DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO



## CAPÍTULO VI

### DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

#### VI.1 - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

É desejável que o protótipo possa ser base para desenvolvimentos futuros, que tenham as seguintes características:

- 1) Leveza, ou seja, concentração menor de peso na garra do robô;
- 2) Possibilidade de ser miniaturizado;
- 3) O meio não deve interferir nas medições, isto é, o sensor deve ser impermeável aos efeitos interferentes do meio;
- 4) O sensor definitivo deve ser suficientemente preciso para que possa ser realizada, convenientemente, a leitura da forma do objeto.

O sistema de Peruchon<sup>8</sup> (ver item V.2.4), embora seja um sistema de apalpador semelhante ao que será desenvolvido, possui elementos que podem torná-lo pesado, volumoso e sen-

sível às condições do meio como temperatura e ondas eletromagnéticas em função das bobinas sensoras.

É desejável que o sensor possa ser esquematizado conforme a Fig. 6.1 abaixo.

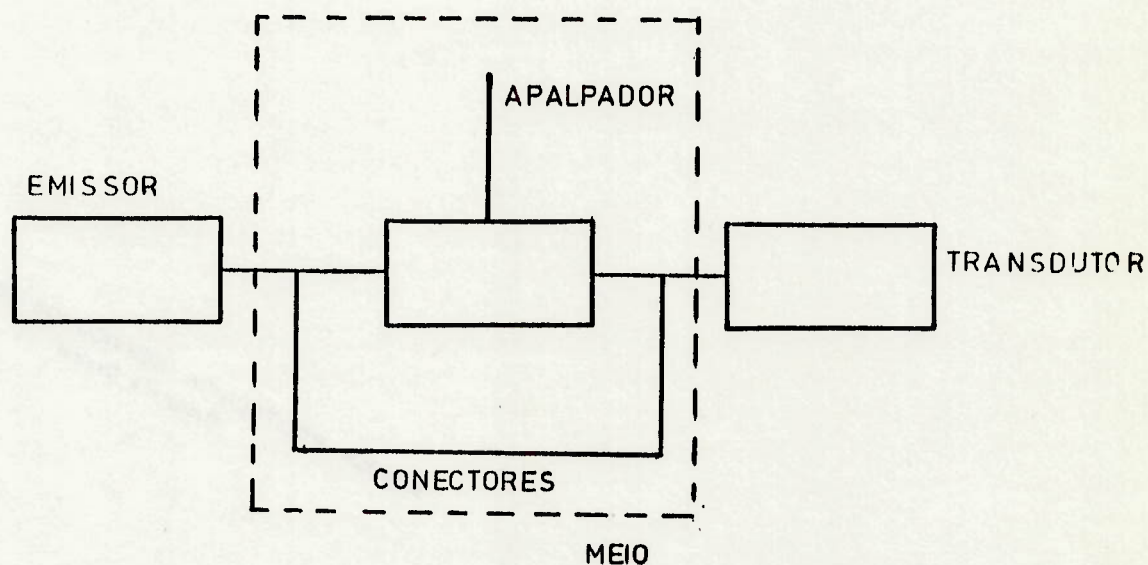


Fig. 6.1 - Esquema desejável do sensor

Uma solução aparentemente interessante seria a junção dos sistemas de Peruchon<sup>8</sup> e de Hill e Sword<sup>8</sup> (ver itens V.2.3 e V.2.4) em que o sensor seria, basicamente, um apalpador mas

o emissor seria uma fonte luminosa, cuja iluminância seria controlada de alguma forma pelo deslocamento do apalpador e captada por um transdutor cujo sinal poderia ser processado pelo computador.

## VI.2 - ESBOÇO DO SENSOR

A Fig. 6.2 abaixo mostra um primeiro esboço do sensor proposto.

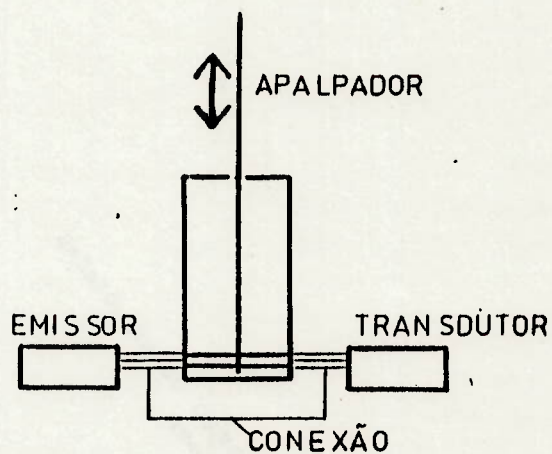


Fig. 6.2 - Primeiro esboço do sensor

A idéia básica é utilizar, como emissor, uma lâmpada cuja iluminância seria captada pelo transdutor.

Entretanto é necessário que a iluminância percebida (ver item VI.4) pelo transdutor seja proporcional ao deslocamento do apalpador.

Um segundo esboço, acompanhando este raciocínio, é

mostrado na Fig. 6.3.

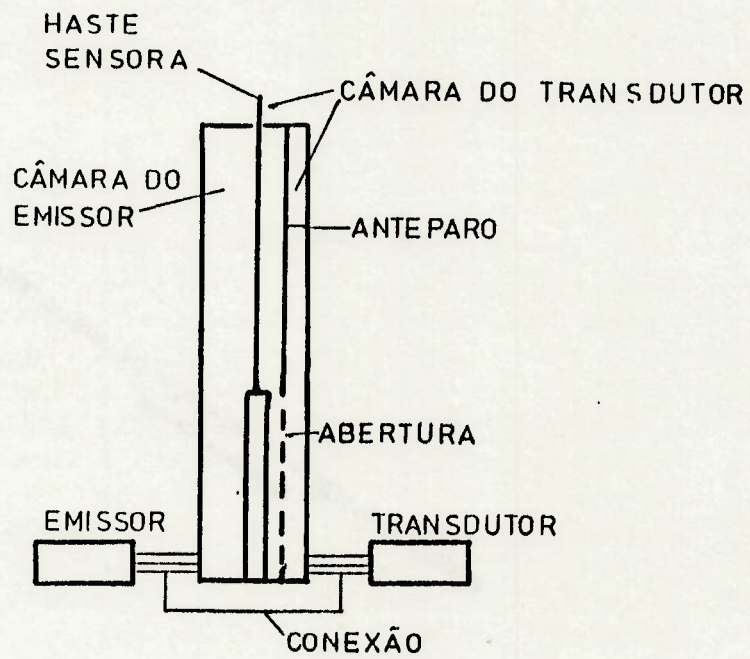


Fig. 6.3 - Segundo esboço

O terceiro esboço aparece na Fig. 6.4 a seguir.

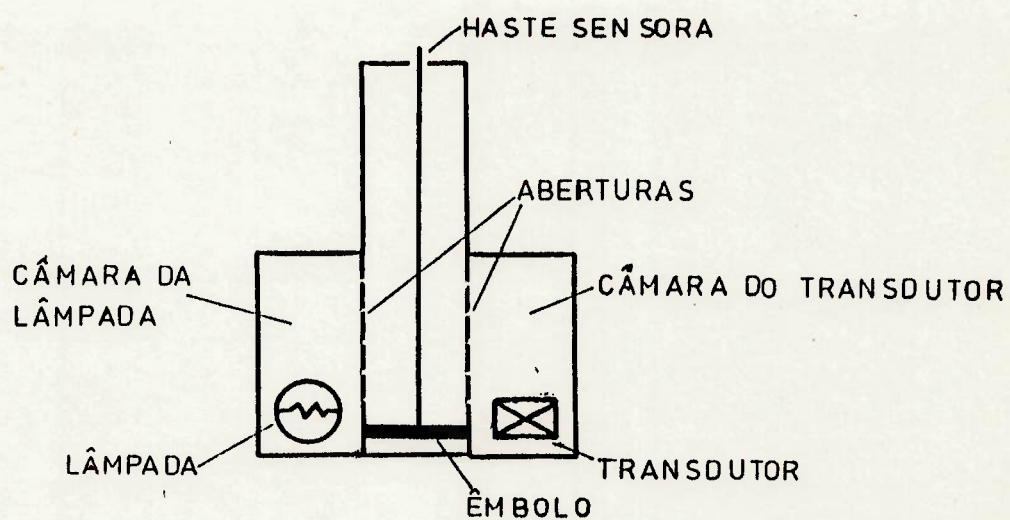


Fig. 6.4 - Terceiro esboço

Finalmente, o esboço definitivo na Fig. 6.5.

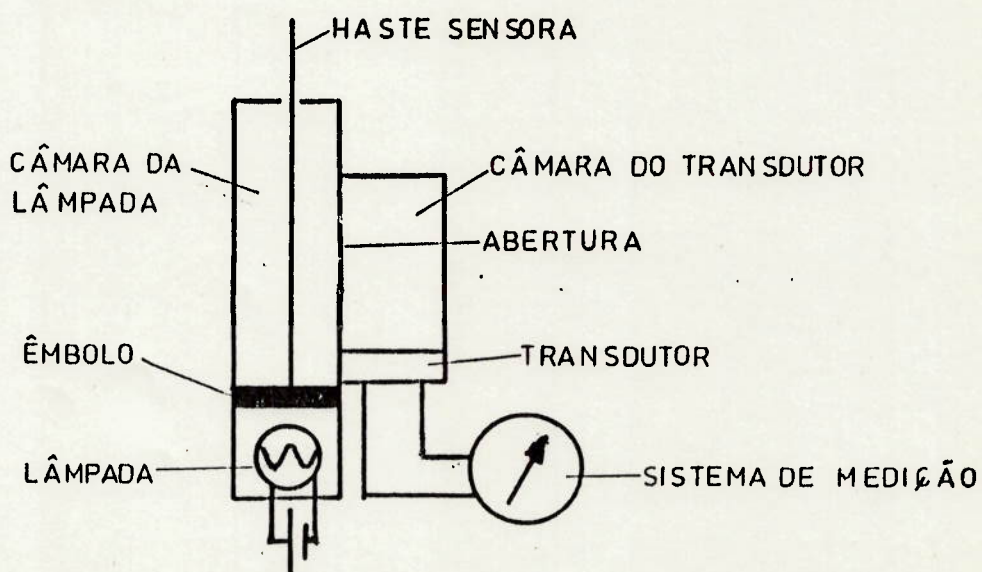


Fig. 6.5 - Esboço definitivo do protótipo

### VI.3 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO

No instante inicial, ou seja, quando não ocorreu ainda qualquer deslocamento da haste, a câmara do transdutor permanece escura e o medidor não acusa nenhuma alteração.

Ao se deslocar a haste, o êmbolo permite a conexão entre a câmara da lâmpada e a câmara do transdutor através da abertura. Como será visto no item VI.4, posteriormente, a iluminância percebida pelo transdutor será proporcional à dimensão da área da abertura que aumenta com o afastamento do êmbolo da lâmpada. O medidor, então, acusa variação dos parâmetros elétricos que é diretamente proporcional à iluminância na câmara do transdutor.

## VI.4 - CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

### VI.4.1 - LEIS FUNDAMENTAIS<sup>16</sup>

Cabe aqui analisar os aspectos teóricos pelos quais foi possível a construção e o funcionamento do protótipo.

A Óptica possui quatro leis fundamentais,<sup>16</sup> a saber:

- a) Lei de propagação retilínea da luz;
- b) Lei da independência dos diferentes componentes de um fecho de luz;
- c) Lei da reflexão; e
- d) Lei da refração.

Destas leis, a que tem utilização direta neste trabalho é a lei de propagação retilínea da luz cujo enunciado diz que a luz, em um meio homogêneo, se propaga em linha reta.

Esta lei, como as outras três leis fundamentais da óptica pode ser verificada experimentalmente.



As observações de sombras bem delineadas, produzidas por fontes pontuais de luz, ou a obtenção de imagens com ajuda de pequenas aberturas podem servir como demonstração experimental desta lei. A Fig. 6.6 mostra a demonstração experimental desta lei.

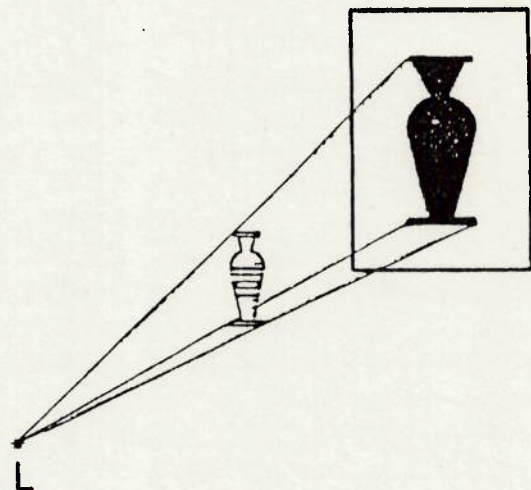
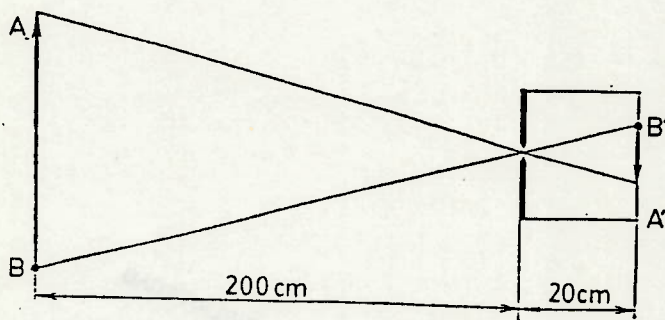


Fig. 6.6 - Demonstração experimental da lei de propagação retilínea da luz

#### VI.4.2 - CONCEITOS FOTOMÉTRICOS<sup>17</sup>

Em continuidade é necessário definir alguns conceitos fundamentais a respeito da fotometria e suas unidades.

A ação da luz sobre o olho humano ou qualquer outro aparelho receptor consiste da transmissão da energia levada pela onda luminosa ao receptor.

Assim é possível definir uma série de conceitos fotométricos a seguir.

##### a) Fluxo de energia radiante ( $\phi$ )

Imaginando-se uma fonte de luz com dimensões suficientemente pequenas de tal forma que a superfície da onda luminosa que se propaga possa ser considerada esférica. Esta fonte pode, então, ser considerada pontual. A Fig. 6.7 mostra esta construção.

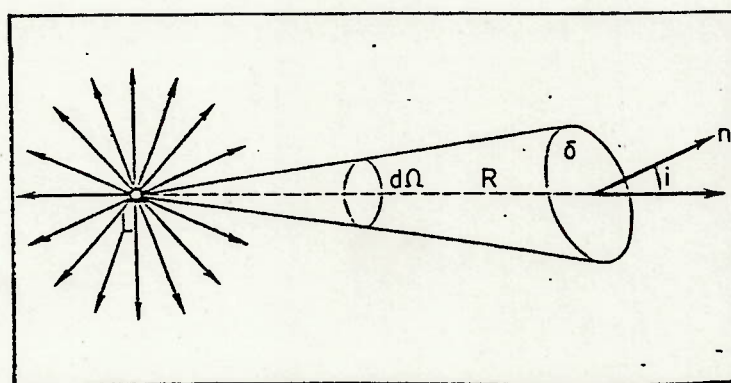


Fig. 6.7 - Conceito de fluxo de energia radiante

Colocando-se no percurso da energia radiante, que vai desse à fonte  $L$ , uma superfície pequena  $\sigma$ , mede-se a quantidade de energia  $Q$  que passa através desta superfície no tempo  $\tau$ .

A relação

$$\frac{Q}{\tau} = \vartheta \quad (1)$$

mostra a quantidade de energia radiante que passa através da superfície  $\sigma$  por unidade de tempo, ou seja, a potência através da superfície  $\sigma$  e se denomina fluxo de energia radiante através da superfície  $\sigma$ .

Como, num meio homogêneo, a luz e, conseqüentemente, a energia radiante, se propaga de forma retilínea, ao traçar, desde a fonte  $L$ , o conjunto de raios que tangenciam o contorno da superfície  $\sigma$ , obtém-se um cone (Fig. 6.7). Se no meio não há absorção de energia, então, em qualquer seção do cone passará o mesmo fluxo.

Adotando-se, então, uma seção do cone de superfície esférica  $d\Omega$  e, portanto, ângulo sólido do cone e considerando-se que a normal  $N$  à superfície  $\sigma$  forma um ângulo  $i$  com o eixo do cone e a distância entre  $L$  e a superfície  $\sigma$  é  $R$  (ver Fig. 6.7), temos:

$$d\Omega = \frac{\sigma \cos i}{R^2} \quad (2)$$

Desta forma o ângulo sólido  $d\Omega$  corresponde à porção do fluxo separada.

O fluxo total, em todas as direções será

$$\vartheta = \int d\vartheta \quad (3)$$

b) Intensidade luminosa (J)

A relação do fluxo por unidade de ângulo sólido se denomina intensidade luminosa. Se o fluxo é emitido uniformemente em todas as direções, então

$$J = \frac{\vartheta}{4\pi} \quad (4)$$

e, numa determinada direção

$$J = \frac{d\vartheta}{d\Omega} \quad (5)$$

Se for adotado um sistema polar de coordenadas como ilustrado na Fig. 6.8.

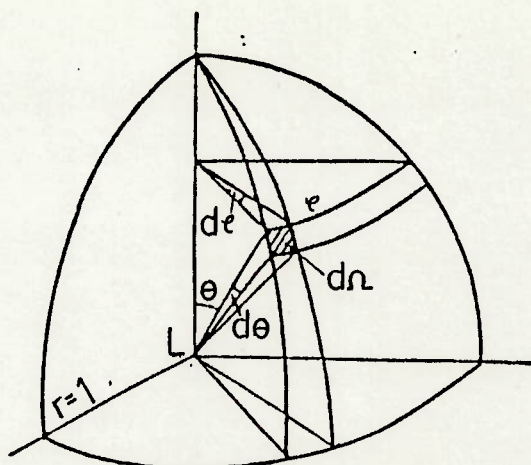


Fig. 6.8 - Ilustração para definir o ângulo sólido em coordenadas polares

resulta

$$d\Omega = \sin\theta \, d\theta \, d\varphi \quad (6)$$

e adotando-se a intensidade  $J$  nas direções  $\theta$  e  $\varphi$

$$J = J_{\theta, \varphi} \quad (7)$$

então,

$$d\Phi = J_{\theta, \varphi} \sin\theta \, d\theta \, d\varphi \quad (8)$$

e o fluxo total

$$\Phi = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi} J_{\theta, \varphi} \sin\theta \, d\theta \quad (9)$$

mas se o fluxo é homogêneo e não depende das direções.

$$\vartheta = 4\pi J \quad (10)$$

c) Iluminância (E)

É definida como a relação entre o fluxo pela unidade de superfície, ou seja, utilizando-se ainda a construção da Fig. 6.7 resulta

$$E = \frac{d\vartheta}{\sigma} = \frac{Jd\Omega}{\sigma} = \frac{J \cos i}{R^2} \quad (11)$$

Aqui percebe-se o fundamento básico pelo qual foi possível construir um protótipo funcionando e que atendesse à proposta do trabalho. O transdutor é construído para captar e reagir proporcionalmente à iluminância incidente sobre ele.

Considerando-se a lâmpada como fonte, evidentemente na realidade não pontual, e que existe um volume aproximadamente esférico em torno da mesma percebe-se que a abertura entre a câmara da lâmpada e a câmara do transdutor (ver Fig. 6.5) funciona como controlador e variador do ângulo sólido  $d\Omega$ , mudando, portanto, direta e proporcionalmente a iluminância  $E$  e a resposta do transdutor.

## VI.5 - ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO 1º PROTÓTIPO

Inicialmente optou-se por construir as câmaras da lâmpada e do transdutor a partir de tubos de alumínio. Entretanto, as irregularidades apresentadas por este tipo de material motivaram a escolha final de seringas de injeção plásticas descartáveis retrabalhadas.

Como primeiro transdutor foi escolhido um fotoresistor<sup>20</sup> que é um semicondutor detetor de luz e que, dado à sua característica de resistor, possui aplicação imediata. Sua resistência é muito alta quando não há luz presente (da ordem de milhões de ohms), diminuindo bastante (até cerca de centenas de ohms) quando iluminados. O tipo FR12, utilizado neste trabalho e fabricado pela empresa Tecnowatt, possui, como elemento ativo, o sulfeto de cádmio sinterizado sobre uma placa de material cerâmico e é o menor destes componentes fabricado no país.

Entre as diversas dimensões de seringas descartáveis disponíveis no mercado optou-se pela de 10ml de volume pois esta permitiu, devido a seu diâmetro interno, a fácil instalação do fotoresistor na sua respectiva câmara.

Como fonte de iluminação foi escolhida uma lâmpada

Philips modelo 222, 2,25V/0,25 A, cujo soquete é facilmente disponível no mercado.

Todo o retrabalho nas seringas foi feito de acordo com os desenhos incluídos no Capítulo IX. Inicialmente retrabalhou-se duas seringas para formar as câmaras da lâmpada e do fotoresistor, respectivamente desenhos IX.1 e IX.2. A largura da abertura (4,5 mm) que conecta a câmara da lâmpada à câmara do fotoresistor representa aproximadamente 30% do diâmetro interno da seringa de 10ml (13,88 mm). A largura da abertura escolhida ainda permite a inserção do fotoresistor no diâmetro interno de sua câmara, sem que haja problema de ajuste entre esta câmara e a da lâmpada. Sob este aspecto seria possível ampliar a largura da abertura até 6,03 mm sem que fosse causado problema de fixação do fotoresistor no interior de sua câmara. O comprimento da abertura foi definido em função do deslocamento que se deseja medir, ou seja, 30 mm.

As duas câmaras foram então coladas com cola epoxi de secagem rápida de forma que suas aberturas fossem coincidentes. Foi colado então, o tampão, executado conforme desenho IX.3. O interior dos tubos foi pintado de preto fosco e foram, finalmente colados o fotoresistor e a lâmpada. Toda a superfície externa do sensor, incluindo-se o fotoresistor e lâmpada (exceto a parte metálica), foi pintada de preto fosco.



O sistema é alimentado por uma fonte de 3,0 V de corrente contínua e foi conectado, em série com o fotoresistor, um resistor de  $1000\Omega$ , permitindo, desta forma, medir a voltagem nos pólos deste último resistor em função da corrente de passagem pelo fotoresistor. Esta voltagem foi registrada através de um multímetro digital IC-2000 da ICEL. O desenho IX.4 apresenta o êmbolo utilizado, idêntico ao fornecido no conjunto da seringa descartável, os itens IX.5 e IX.6 mostram, respectivamente, os desenhos de catálogo dos fabricantes da lâmpada e do fotoresistor. Finalmente o desenho IX.7 apresenta o diagrama elétrico do conjunto e o desenho IX.8 mostra o esquema de montagem do 1º protótipo.

As figuras 6.9 e 6.10 mostram os aspectos construtivos do 1º protótipo.



Fig. 6.9 - Aspectos dos componentes do 1º protótipo

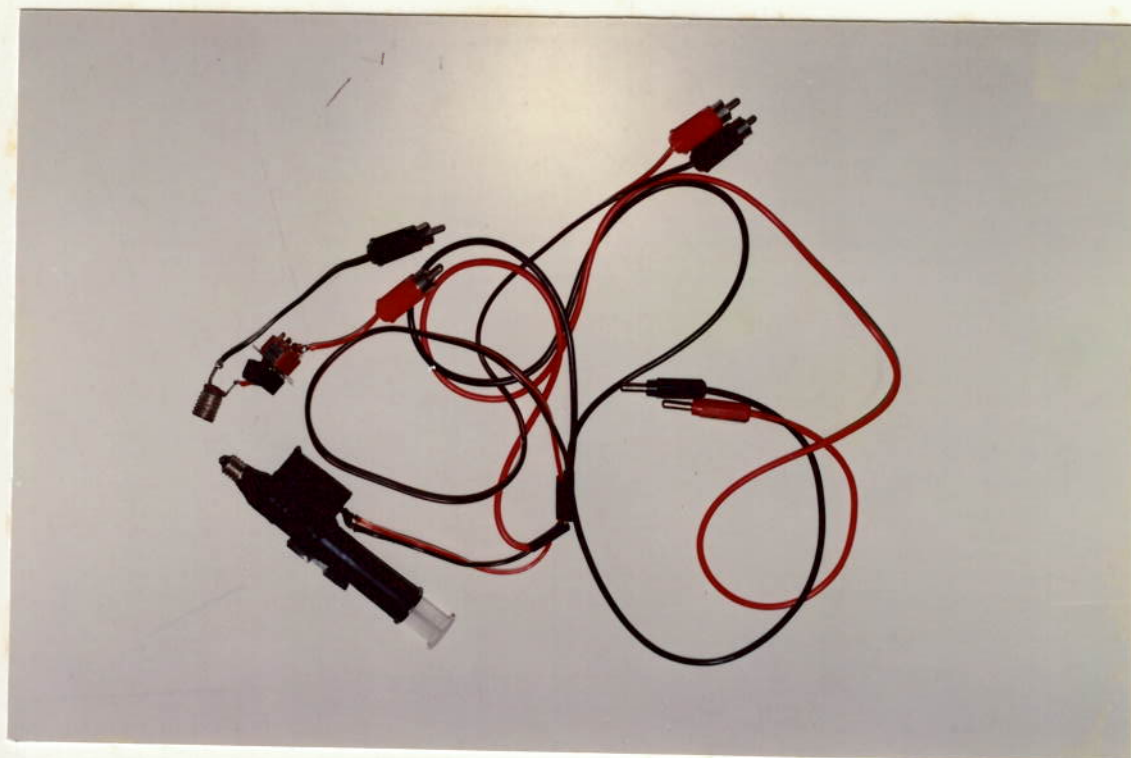
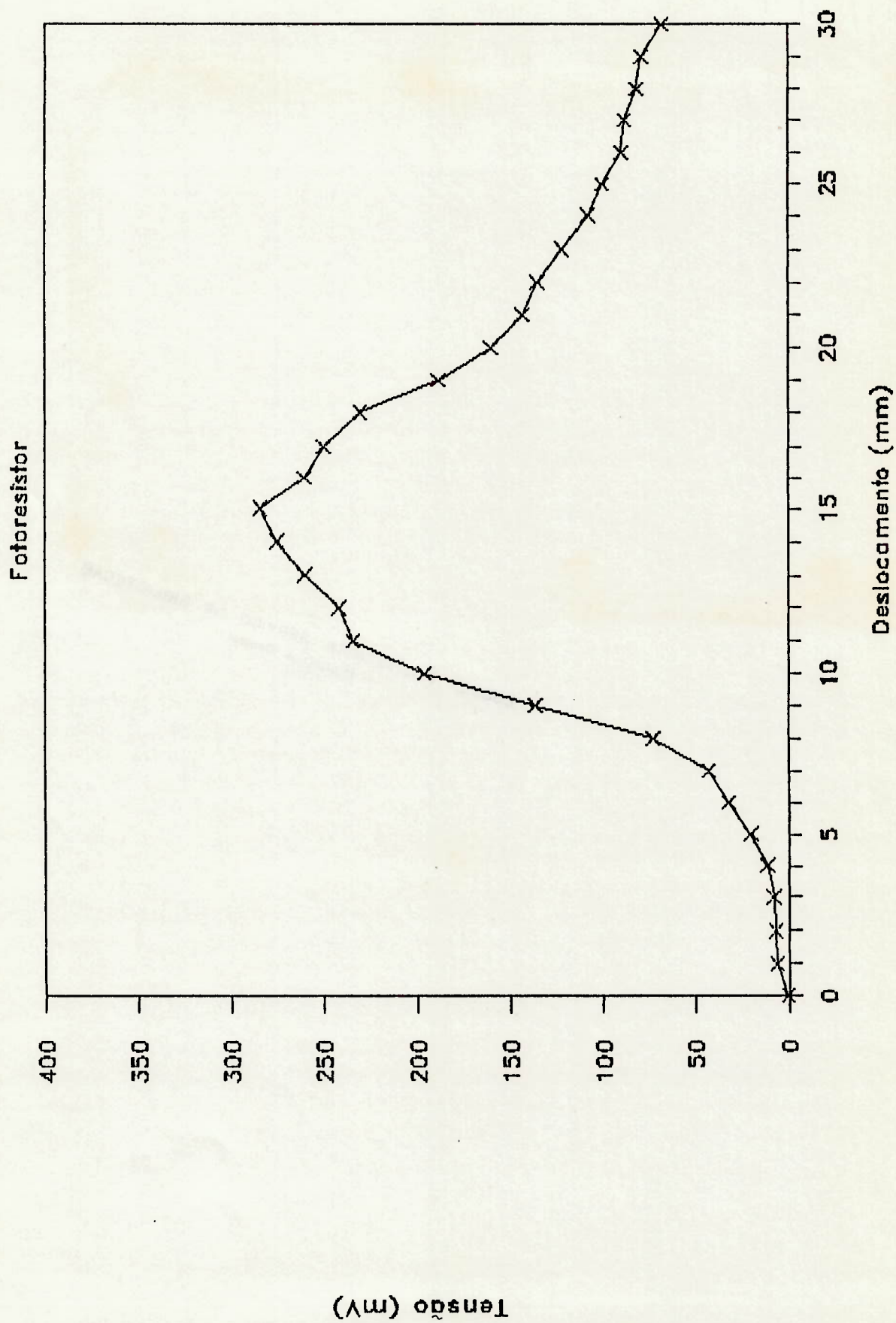


Fig. 6.10 - Aspecto geral do sistema após montagem

ITEM VI.6 - GRAFICO TENSÃO x DESLOCAMENTO



## VI.7 - COMENTÁRIOS

O gráfico tensão x deslocamento (item VI.6) revelou, para este sensor, duas partes, uma ascendente, até cerca de 50% do comprimento da abertura, e outra descendente relativa à metade final da abertura.

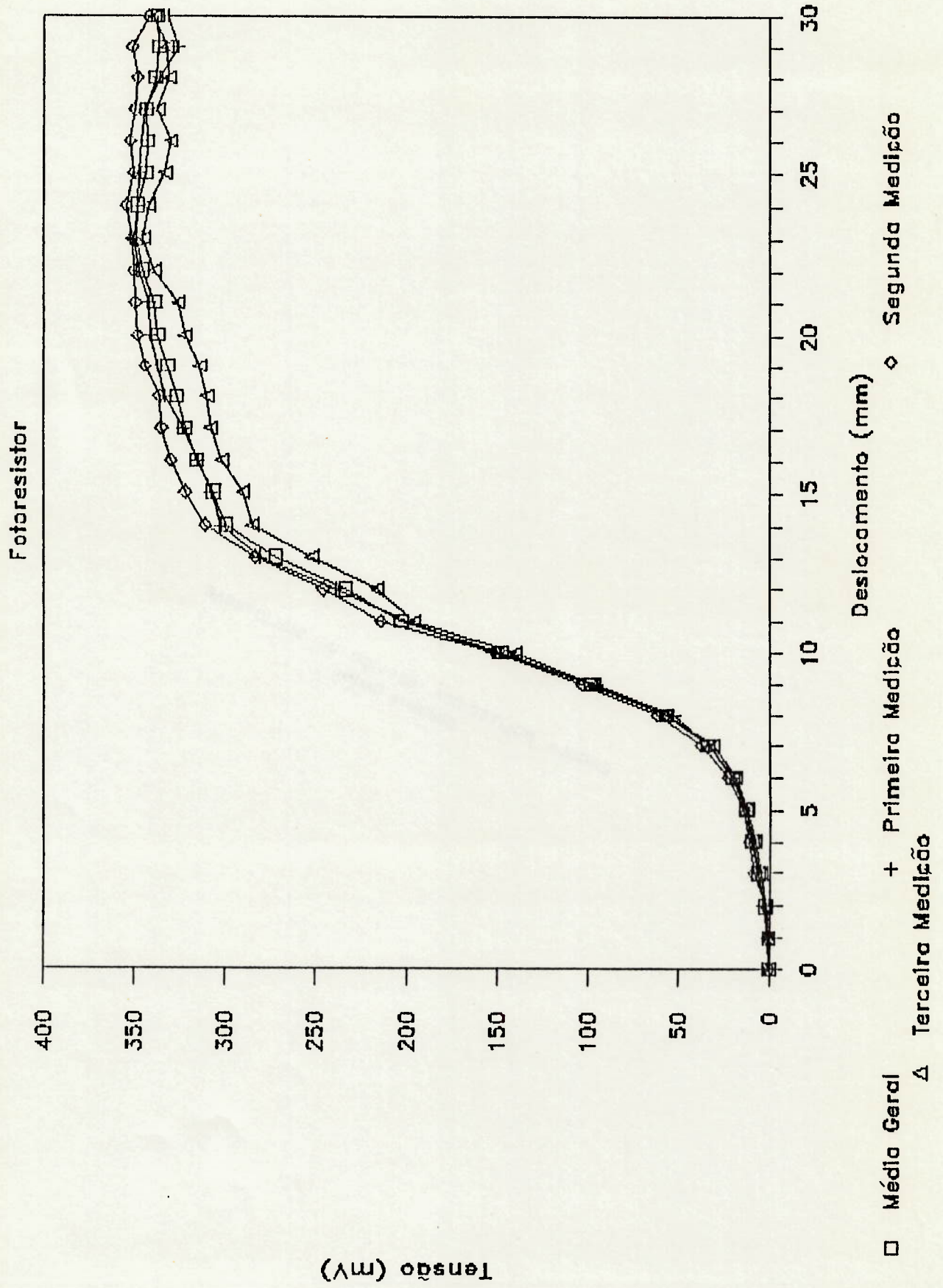
Isto caracteriza este sensor para deslocamento de até 15mm mas, em tentativa de corrigir este problema, foi trocada a posição entre o fotoresistor e o tampão, conforme mostra o desenho IX.8A.

Foram realizadas, então, três medições tensão x deslocamento mostradas nos gráficos VI.7A (incluindo as três medições e a média aritmética das mesmas), VI.7B (média geral), VI.7C (primeira medição), VI.7D (segunda medição) e VI.7E (terceira medição).

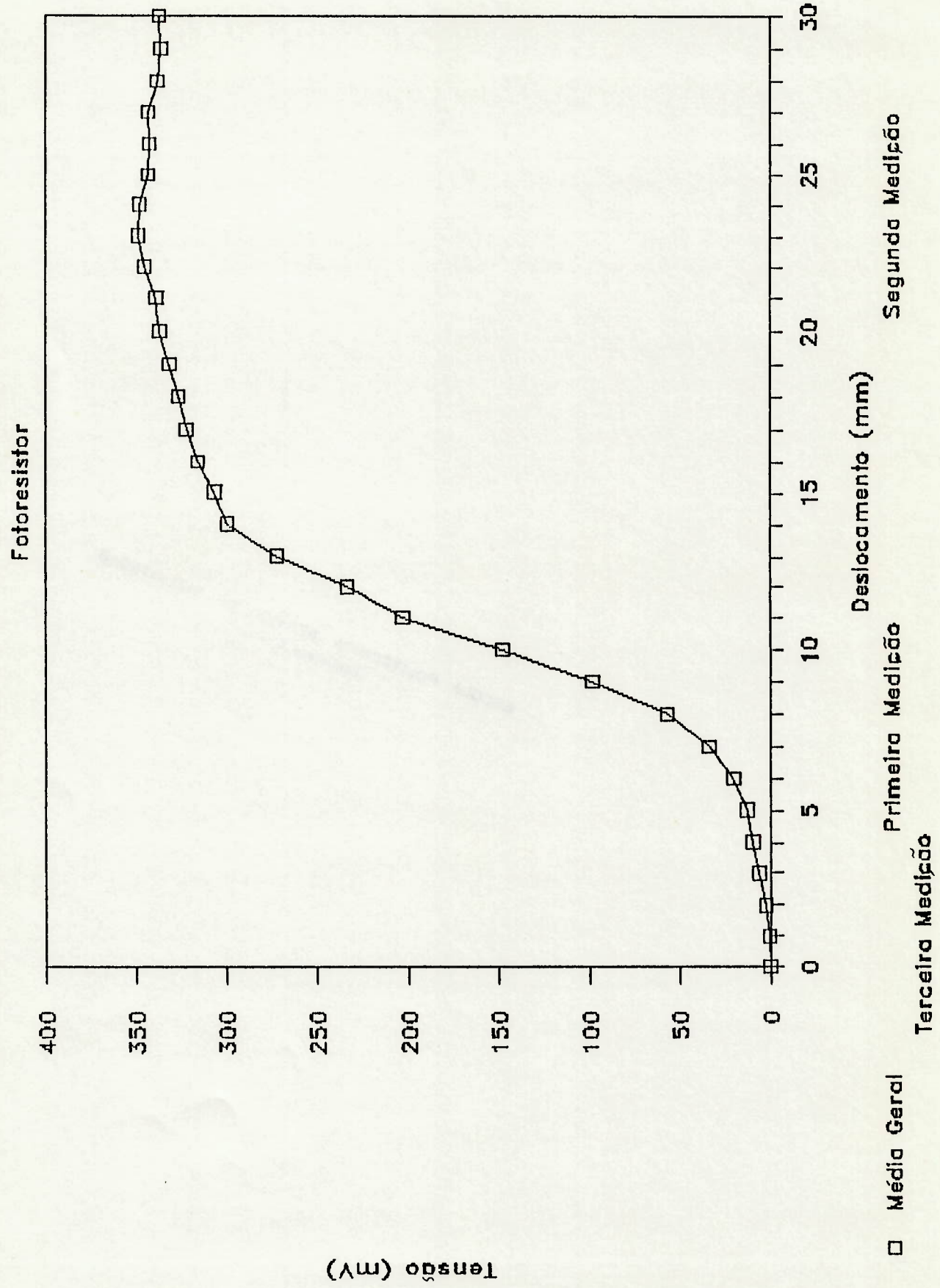
A tabela IX.18 mostra o conjunto de medições tensão x deslocamento para o item VI.6 e a tabela IX.19 traz o conjunto de medições para os itens VI.7A, 7B, 7C, 7D e 7E.

Os gráficos foram levantados em computador com o auxílio do Programa Symphony, versão 1.1, da Lotus Development Corporation.

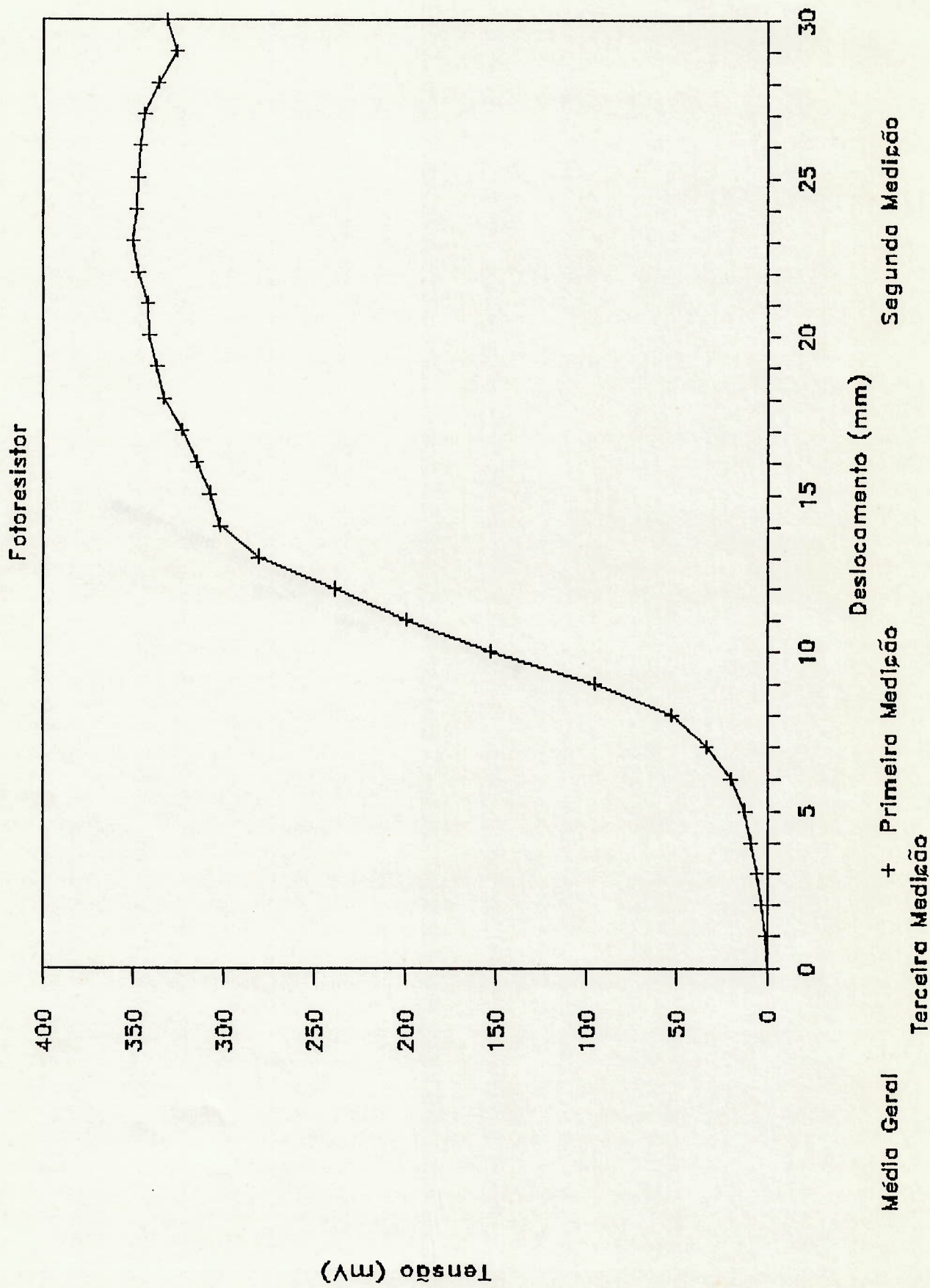
# ITEM VI.7A - GRAFICO TENSÃO X DESLOCAMENTO



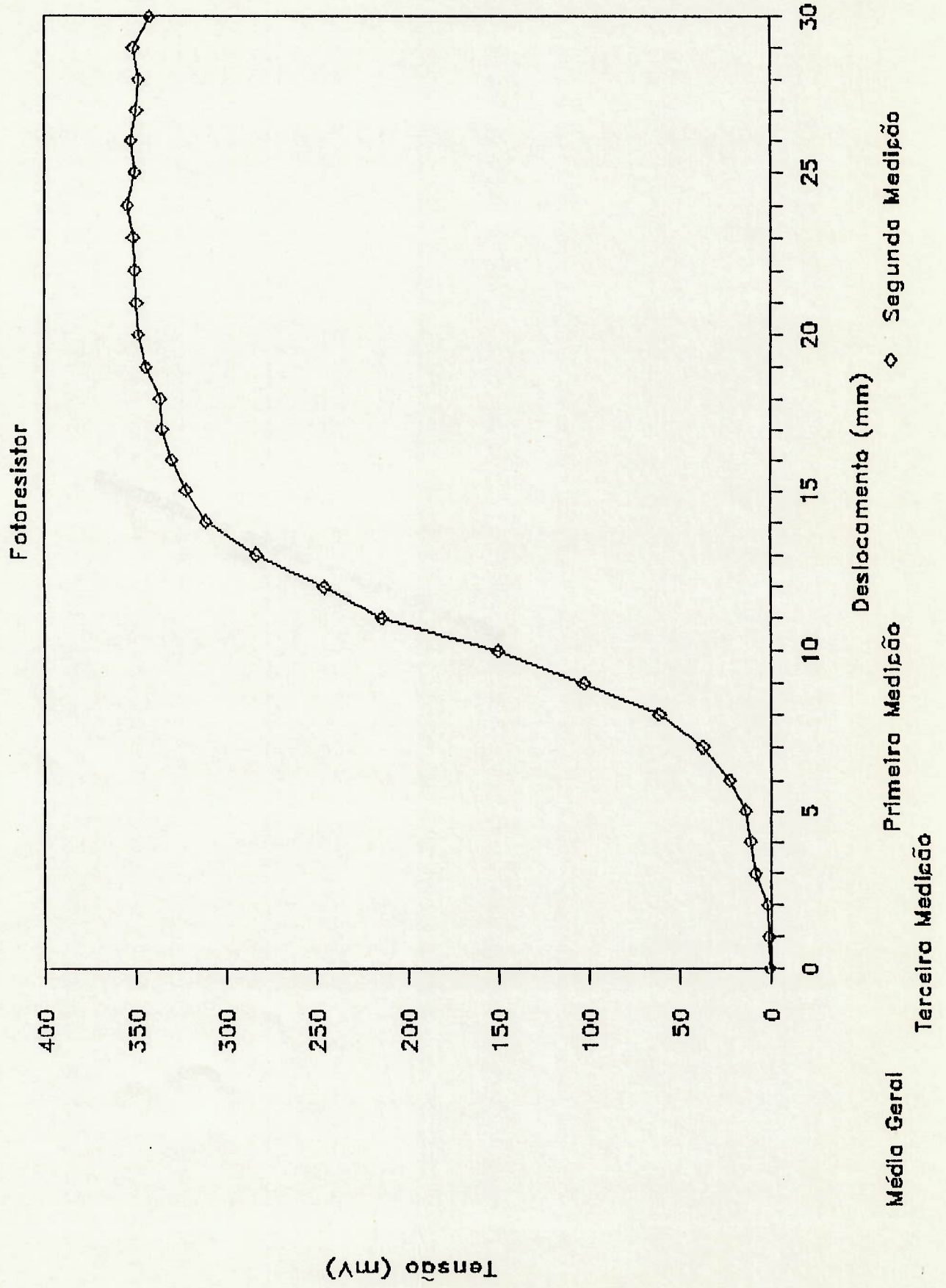
# ITEM VI.7B - GRAFICO TENSÃO x DESLOCAMENTO



# ITEM VI.7c - GRAFICO TENSÃO X DESLOCAMENTO

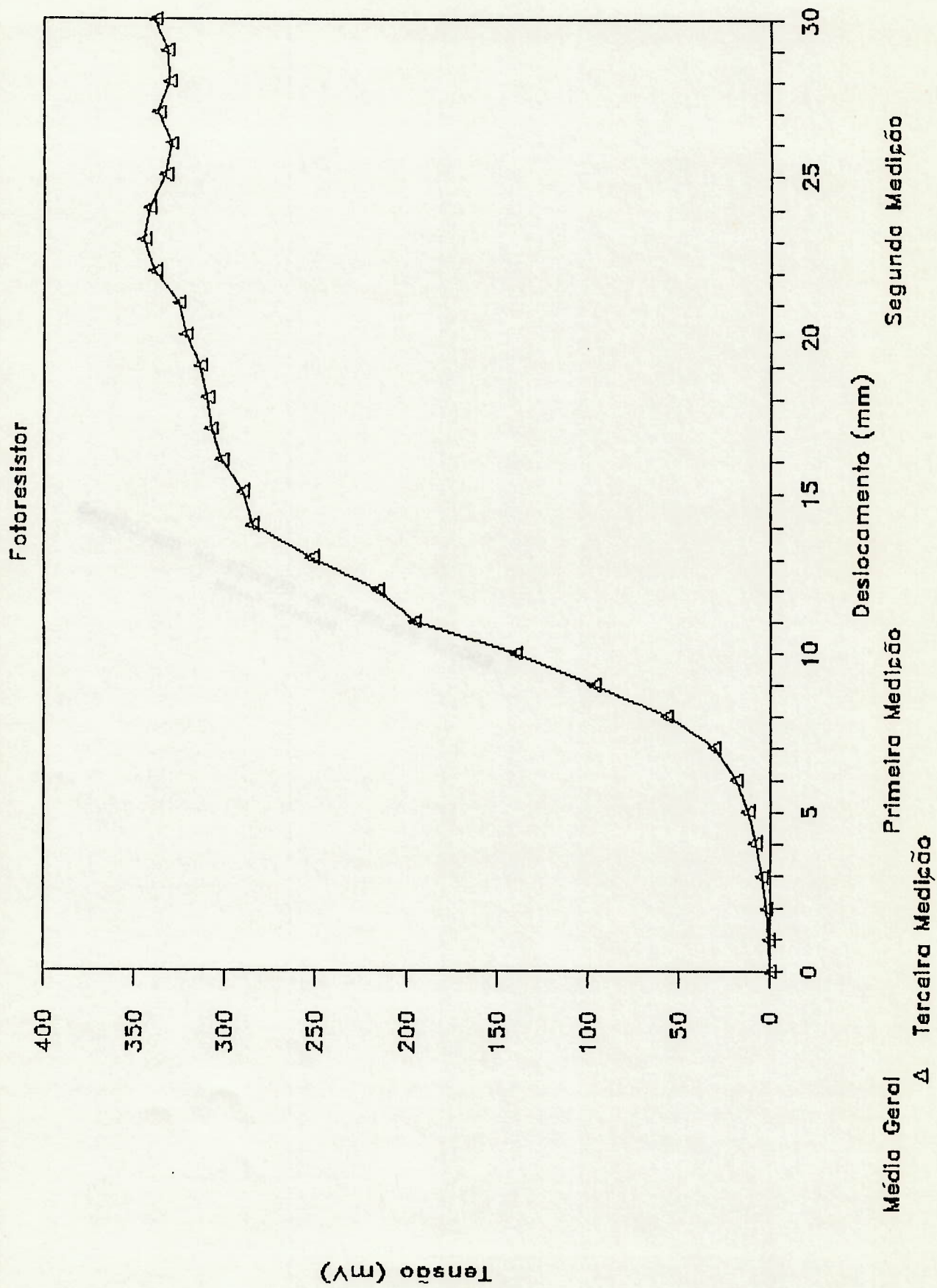


# ITEM VI.7D - GRAFICO TENSÃO x DESLOCAMENTO





# ITEM VI.7.E - GRAFICO TENSÃO X DESLOCAMENTO



## VI.8 - COMENTÁRIOS SOBRE O 1º PROTÓTIPO APÓS A TROCA DE POSIÇÃO DO FOTORESISTOR

A troca de posição do fotoresistor mostrou-se eficaz na solução do problema detectado na curva tensão x deslocamento do item VI.6.

Tornou-se possível, com esta alteração, utilizar o sensor com fotoresistor na extensão total da abertura entre as câmaras da lâmpada e do fotoresistor.

Em termos de desempenho o sensor revelou-se eficiente, com resultados bastante próximos à média aritmética das medições, em deslocamentos entre 0 e aproximadamente 11mm.

A partir deste deslocamento observou-se discrepância entre as medições e a média das mesmas, com variações relativamente grandes entre as medições, com prejuízo da precisão do sensor.

Foi detectado, entretanto, um tempo razoavelmente longo para descarga do fotoresistor, registrado pelo próprio multímetro. Este tempo gerou dificuldade na utilização do sensor com o fotoresistor.

## VI.9 - ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO 2º PROTÓTIPO

À característica de "memória" do fotoresistor, isto é, seu tempo de descarga lento motivou a sua substituição por outros componentes que tivessem características ótico-eletrônicas. Assim, foi experimentado, ao invés do fotoresistor, um circuito contendo um fototransistor.

## VI.10 - DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO PARA O FOTOTRANSISTOR

Fototransistores<sup>21</sup> são transistores especialmente projetados para amplificarem diretamente variações na quantidade de fótons (unidade de quantidade de energia na luz).

Inicialmente foi escolhido um circuito padrão de alta velocidade<sup>5</sup> com a configuração da fig. 6.11.

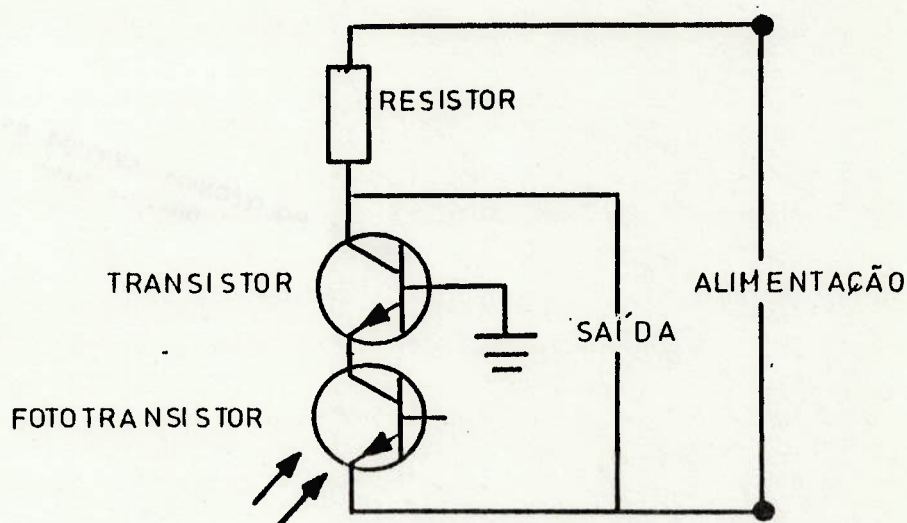
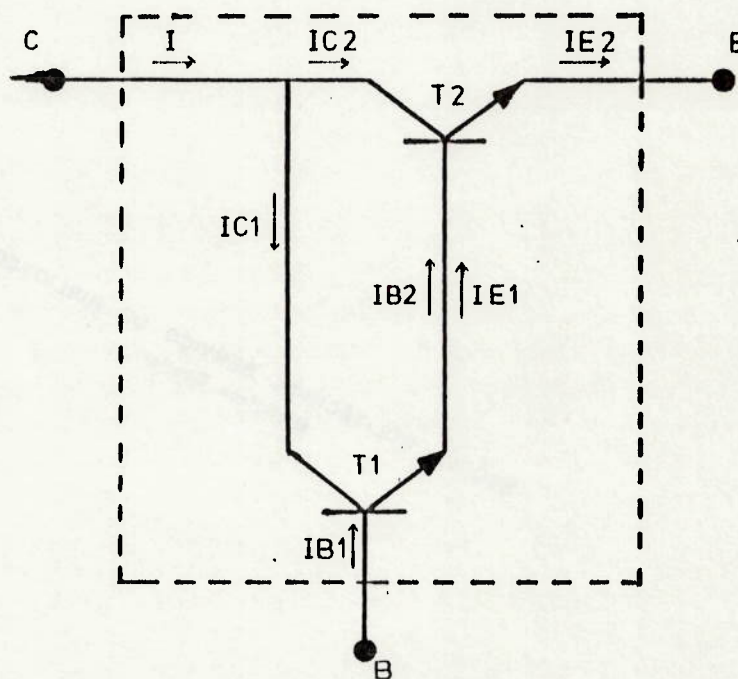


Fig. 6.11 - Configuração básica para fototransistor

Entretanto não foi possível encontrar no mercado um fototransistor sem terminal base, como previsto no circuito acima.

Como resultado optou-se por um fototransistor marca Silonéx, tipo NSL-610-3.

Para configuração do circuito optou-se pela Darlington<sup>29</sup> que proporciona elevado ganho de corrente. A fig. 6.12 mostra um esquema típico para esta configuração.



LEGENDA:    B = BASE                                    T1 = TRANSISTOR 1  
               C = COLETOR                                T2 = TRANSISTOR 2  
               E = EMISOR

IB1 = CORRENTE DE BASE EM T1  
 IC1 = CORRENTE DE COLETOR EM T1  
 IE1 = CORRENTE DE EMISOR EM T1  
 IB2 = CORRENTE DE BASE EM T2  
 IC2 = CORRENTE DE COLETOR EM T2  
 IE2 = CORRENTE DE EMISOR EM T2

Fig. 6.12 - Esquema típico de configuração Darlington

Cabe definir o parâmetro  $\beta$ , conhecido como ganho do transistor e que representa a relação entre a corrente do coletor e a corrente da base.

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (12)$$

Temos, então,

$$\beta_1 = \frac{I_{C1}}{I_{B1}} \quad (13) \quad \text{e} \quad \beta_2 = \frac{I_{C2}}{I_{B2}} \quad (14)$$

mas, se  $\beta \gg 100$ , segundo Vicari Cipelli,<sup>27</sup> fica

$$I_E \approx I_C \quad (15)$$

o que resulta:

$$I_{E1} \approx I_{C1} \quad (16) \quad \text{e} \quad I_{E2} \approx I_{C2} \quad (17)$$

mas como em (14)

$$I_{C2} = \beta_2 I_{B2}$$

e pela fig. 6.12

$$I_{B2} = I_{E1}, \text{ temos}$$

$$I_{C2} = \beta_2 \cdot I_{E1} \quad (18)$$

aplicando (16) em (18), fica

$$I_{C2} = \beta_2 \cdot I_{C1} \quad (19)$$

e aplicando (13) em (19)

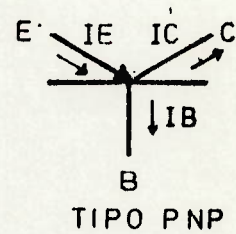
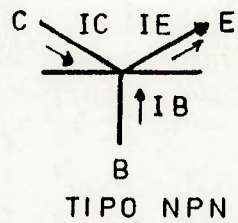
$$I_{C2} = \beta_2 \cdot \beta_1 \cdot I_{B1} \quad (20)$$

e, finalmente,

$$I_{E2} = \beta_2 \cdot \beta_1 \cdot I_{B1} \quad (21)$$

A equação (21) acima explica o ganho de corrente que o circuito Darlington permite.

Cabe notar que os transistores possuem duas configurações básicas conforme mostra a fig. 6.13 a seguir.



LEGENDA :  $I_B$  = CORRENTE DE BASE  
 $I_C$  = CORRENTE DE COLETOR  
 $I_E$  = CORRENTE DE EMISSOR

Fig. 6.13 - Configurações básicas de transistores

A relação entre correntes e tensões num transistor é a seguinte:

$$I_E = I_C + I_B \quad (22)$$

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} \quad (23)$$

onde



$V_{CE}$  = Tensão

Coletor - Emissor

$V_{CB}$  = Tensão

Coletor - Base

$V_{BE}$  = Tensão

Base - Emissor

O circuito definitivo fica como mostrado na fig. 6.14

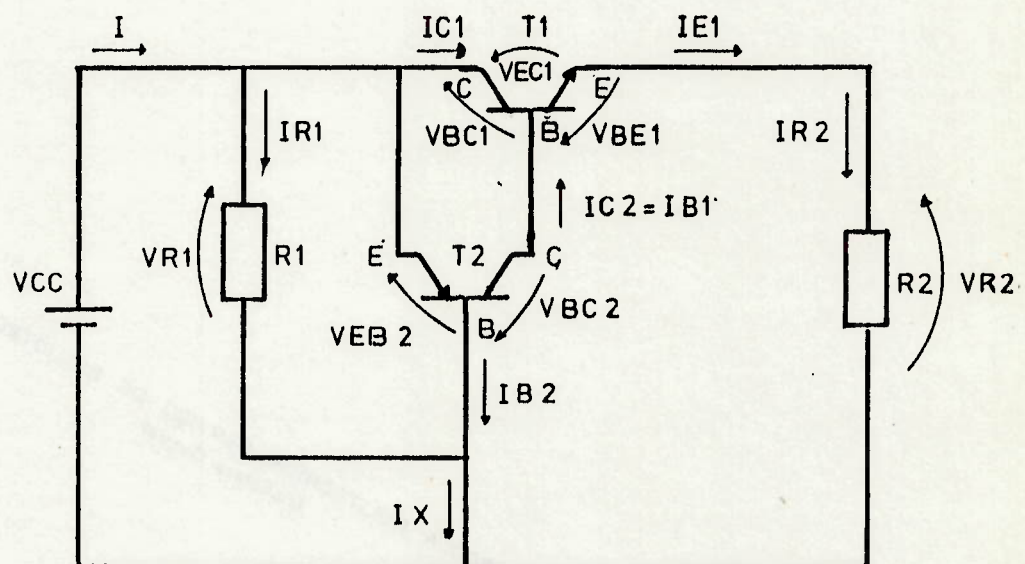


Fig. 6.14 - Esquema do circuito para o fototransistor

Transistor 1 (fototransistor)

Modelo: NSL-610-3

Material: Silício

Tipo: NPN

$$\beta_1 = 34$$

$$I_{CE01} = \text{corrente entre coletor e emissor com base em aberto (desligada)} = 3 \times 10^{-3} \text{ A}$$

Nota: O ganho  $\beta_1$  foi medido experimentalmente. A corrente  $I_{CE0}$  é informada pelo catálogo do fabricante do fototransistor (Tabela IX.9).

Transistor 2

Modelo: BC161/16

Material: Silício

Tipo: PNP

$$\beta_2 = 169 \text{ (obtido experimentalmente)}$$

$$I_{C2} = 1 \text{ A (máxima)}$$

Nota: Os dados acima para o transistor 2 foram obtidos de Towers<sup>26</sup>, exceto quando indicado.

Condições de funcionamento, adotando-se entrada variável:

$$V_{CC} \text{ máximo} = 6,90V$$

$$V_{CC} \text{ mínimo} = 5,10V$$

$$I \text{ máximo} = 1,45A$$

$$I \text{ mínimo} = 1,35A$$

$$V_{R2} \text{ máximo} = 3,0V \text{ (tensão de saída)}$$

$$V_{R2} \text{ mínimo} = 0V \text{ (tensão de saída)}$$

Nota: Os valores de  $V_{CC}$  e  $I$  máximo e mínimo foram obtidos experimentalmente da fonte. Os valores de  $V_{R2}$  foram simplesmente adotados.

Fazendo

$$I_{R2} \text{ máximo} = I_{CE01} = 3 \times 10^{-3} A \quad (24)$$

$$I_{R2} \text{ mínimo} = 0 \quad (25)$$

Temos, então, na condição de  $V_{CC}$  máximo<sup>30</sup>:

$$V_{CC} \text{ máximo} = R_1 \cdot I_{R1} + V_{R2} \text{ mínimo} + V_{BE1} \text{ mínimo} \quad (26)$$

$$V_{CC} \text{ máximo} = R_1 (I_{B_2} \text{ mínimo} + I_X \text{ máximo}) + V_{R_2} \text{ mínimo} + V_{BE_1} \text{ mínimo} \quad (27)$$

onde

$$V_{CC} \text{ máximo} = 6,90V \quad (28)$$

$$I_{B_2} \text{ mínimo} = \text{corrente de base do transistor 2} = 0 \quad (29)$$

$$I_X \text{ máximo} = I \text{ máximo} = 1,45A \quad (30)$$

$$V_{R_2} \text{ mínimo} = 0 \quad (31)$$

$$V_{BE_1} \text{ mínimo} = 0,6V \text{ (característica de transistores de silício)}^{28} \quad (32)$$

em (27) fica

$$6,90 = R_1 (0 + 1,45) + 0 + 0,6 \quad (33)$$

$$6,90 = 1,45 R_1 + 0,6 \quad (34)$$

De (34) resulta

$$R_1 = 4,34\Omega \quad (35)$$

temos, na condição de  $V_{CC}$  mínimo<sup>30</sup>

$$V_{CC} \text{ mínimo} = R_1 (I_{B2} \text{ máximo} + I_x \text{ mínimo}) + V_{R2} \text{ máximo} + V_{BE1} \text{ máximo} \quad (36)$$

onde

$$V_{CC} \text{ mínimo} = 5,10V \quad (37)$$

De (14) temos

$$I_{B2} \text{ máximo} = (I_{C2} \text{ máximo}) / \beta_2 \quad (38)$$

De Towers<sup>26</sup> vem:

$$I_{C2} \text{ máximo} = 1A \quad (39)$$

Então

$$I_{B2} \text{ máximo} = 1/169 = 1 \times 10^{-2} A \quad (40)$$

Adotando-se

$$I_x \text{ mínimo} = I_{B2} \text{ máximo} = 5,92 \times 10^{-3} A \quad (41)$$

e  $V_{BE1} \text{ máximo} = 0,6V \quad (42)$

e como

$$V_{R_2\text{máximo}} = 3,0V, \text{ temos, de } (36)$$

$$5,10 = R_1(2 \times 5,92 \times 10^{-3}) + 3,0 + 0,6 \quad (43)$$

resultando

$$R_1 = 126,69\Omega \quad (44)$$

temos, então, para o resistor  $R_1$  o seguinte intervalo:

$$4,34\Omega < R_1 < 126,69\Omega \quad (45)$$

Cálculo da  $BV_{CE0}$ , tensão de ruptura entre coletor e emissor quando a base está aberta.

Para o transistor 1 (fototransistor)

$$BV_{CE01} > (V_{CC\text{máximo}} - V_{R_2\text{mínimo}})^{30} \quad (46)$$

$$BV_{CE01} > (6,90 - 0) = 6,90V \quad (47)$$

$$BV_{CE01} (\text{Tabela IX.9}) = 30V \quad (48)$$

Portanto o transistor 1 está funcionando em sua faixa de operação normal.

Para o transistor 2

$$BV_{CE02} > (V_{CC\text{máximo}} - V_{R2\text{mínimo}})^{30} \quad (49)$$

$$BV_{CE02} > (6,90 - 0) = 6,90V \quad (50)$$

$$BV_{CE02} \text{ (Towers}^{26}\text{)} = 60V \quad (51)$$

O transistor 2 também está funcionando em sua faixa de operação normal.

Cálculo da potência máxima dissipada.

Para o transistor 1 (fototransistor)

$$PC_{\text{máxima 1}} > (V_{CC\text{máximo}} - V_{R2\text{mínimo}}) \cdot IR_{2\text{máximo}}^{30} \quad (52)$$

$$PC_{\text{máxima 1}} > (6,90 - 0) \cdot 3 \times 10^{-3} = 2,07 \times 10^{-2} W \quad (53)$$

$$PC_{\text{máxima 1}} \text{ (Tabela IX.9)} = 200 \times 10^{-3} W \quad (54)$$

Portanto o transistor 1 está operando normalmente.

Para o transistor 2

$$PC_{\text{máxima 2}} > (V_{CC\text{máximo}} - V_{R2\text{mínimo}}) \cdot IR_{2\text{máximo}}^{30} \quad (55)$$

$$PC_{\text{máxima } 2} > (6,90 - 0) \cdot 3 \times 10^{-3} = 2,07 \times 10^{-2} \text{ W} \quad (56)$$

$$PC_{\text{máxima } 2} (\text{Towers}^{26}) = 3200 \times 10^{-3} \text{ W} \quad (57)$$

O transistor 2 também opera em condições normais.

Cálculo de  $R_2$ .

Temos que:

$$R_2 = (V_{R_2\text{máximo}}) / (I_{R_2\text{máximo}}) \quad (58)$$

então, conforme condições iniciais:

$$V_{R_2\text{máximo}} = 3,0\text{V}$$

e, de (24)

$$I_{R_2\text{máximo}} = 3 \times 10^{-3} \text{ A}$$

temos:

$$R_2 = 3,0 / 3 \times 10^{-3} = 1000 \Omega \quad (59)$$



## VI.11 - COMENTÁRIOS SOBRE O CIRCUITO COM FOTOTRANSISTOR

O 2º protótipo seria baseado unicamente na utilização do fototransistor.

Os cálculos incluídos no item VI.10 adotaram um balanço de tensões ao longo do circuito, considerando a variação da tensão de entrada no circuito ( $V_{CC}$ ).

Para o resistor  $R_1$ , cujo valor deveria estar situado entre  $4,34\Omega$  e  $126,69\Omega$ , foi escolhido um resistor de  $120\Omega$ . Adicionalmente, como calibrador, foi instalado um resistor variável de 0 a  $100\Omega$  antes do emissor do transistor 2. A fig. 6.15 a seguir mostra o circuito já montado.

O desenho IX.10 mostra o esquema do circuito construído.

Embora, em experimentações preliminares utilizando-se uma pequena lanterna, o circuito tenha se revelado bastante sensível, não foi possível utilizá-lo no sensor pois foi também observado que o fototransistor é bastante sensível para fontes luminosas cujo emissor esteja em posição coaxial em relação ao eixo do fototransistor. Em contrapartida observou-se pouca sensibilidade quando a fonte luminosa está desalinhada em relação ao fototransistor e não causa incidên-

cia direta de luz no mesmo, caso específico do sensor em desenvolvimento. Assim optou-se por outro tipo de transdutor, no caso célula fotovoltaica.

Cabe notar que as leituras realizadas referem-se a  $V_{R_2}$  e foram feitas em multímetro digital IC-2000 da ICEL.

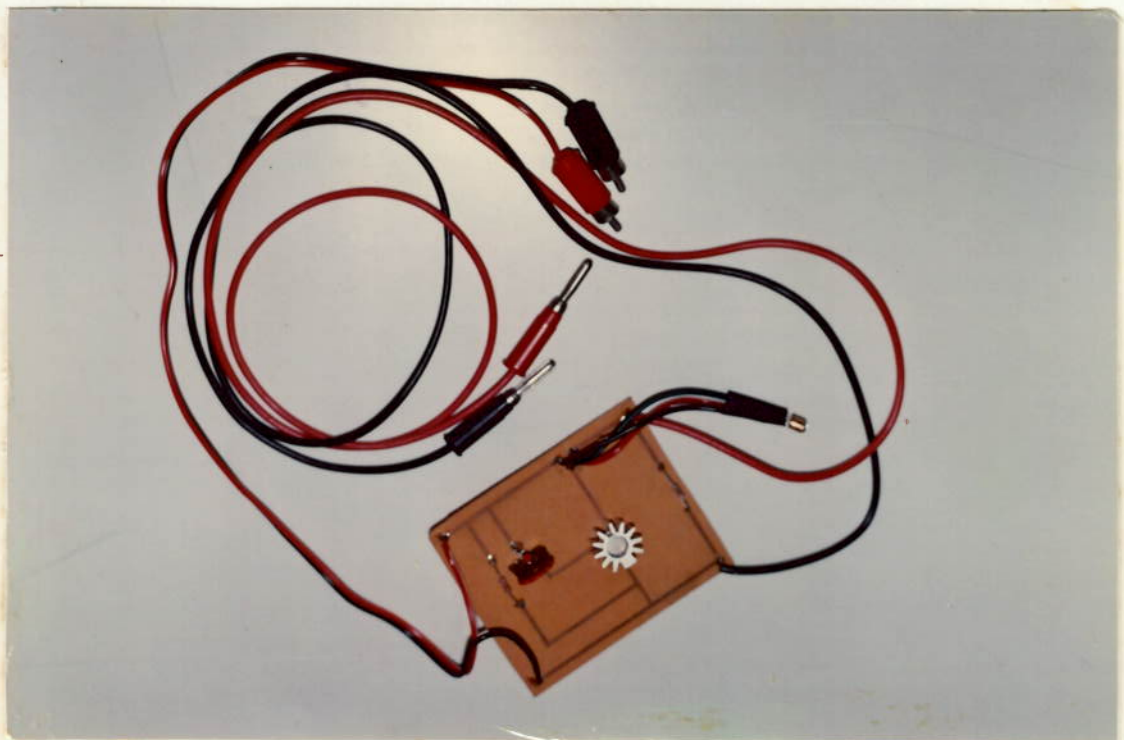


Fig. 6.15 - Circuito para fototransistor.

## VI.12 - ALTERAÇÕES DO CIRCUITO PARA O 2º PROTÓTIPO

A terceira tentativa resultou na impossibilidade de se utilizar o fotoresistor em razão de sua descarga lenta e por ter o fototransistor pouca sensibilidade em situações onde não há luz incidindo diretamente sobre ele. A hipótese seguinte foi a adoção de uma célula fotovoltaica.

## VI.13 - DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO PARA A CÉLULA FOTOVOL- TÁICA

Células fotovoltaicas<sup>22</sup> são fotodiodos que, quando iluminados, geram tensão entre seus pólos.

É possível, portanto, aplicar a célula fotovoltaica sem acoplá-la a qualquer circuito adicional mas, neste desenvolvimento, a célula será ligada a um circuito transistorizado que servirá para, basicamente, calibrar a leitura a ser realizada e amplificar as variações registradas pela célula. A conclusão sobre a utilização ou não do circuito será baseada nas curvas tensão x deslocamento (AL x V) que serão levantadas após a construção do protótipo a exemplo do que já foi feito com o protótipo em que foi instalado o fotoresistor (itens VI.6 e VI.7).

O circuito foi baseado no proposto por MIMS<sup>19</sup> para amplificador de corrente alternada conforme pode ser visto na fig. 6.16.

O circuito final terá, no lugar do capacitor de entrada a ser mostrado na fig. 6.16, a célula fotovoltaica que trabalhará como fonte adicional de tensão.

O novo circuito ficará, então, conforme será mostrado na Figura 6.17.

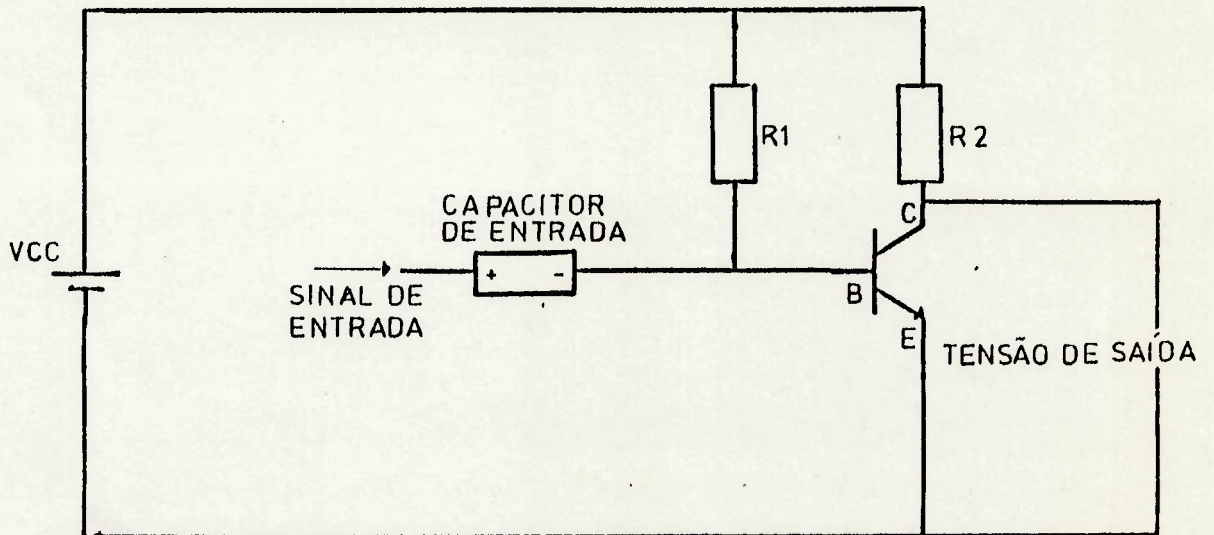


Fig. 6.16 - Esquema de circuito para amplificador de corrente alternada.

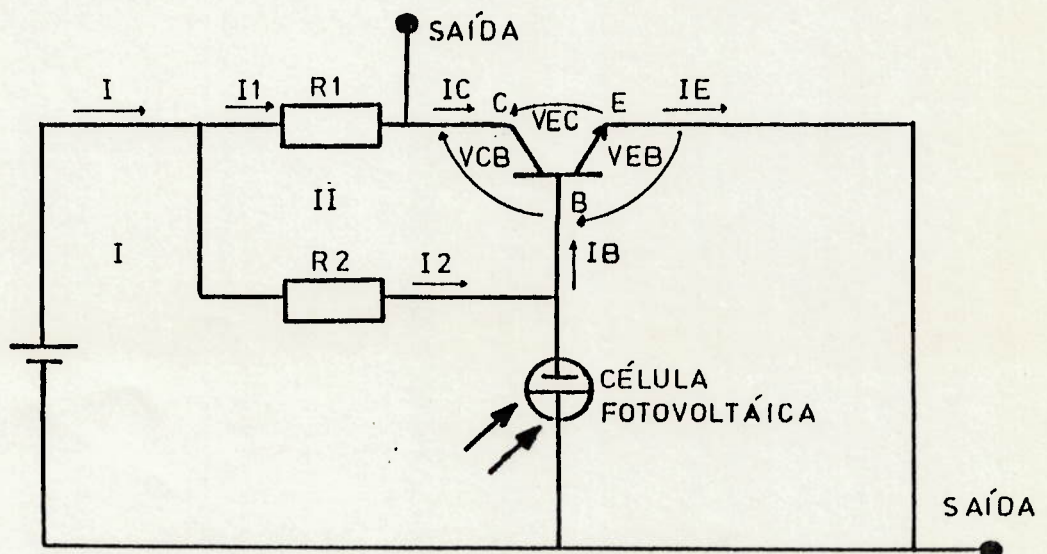


Fig. 6.17 - Esquema definitivo do circuito para a célula fotovoltaica.

Transistor

Modelo: BC 167

Material: Silício

Tipo: NPN

$\beta$ : 120

$I_C$ :  $100 \times 10^{-3}$  A (máximo)

Nota: Os dados acima foram obtidos de Towers.<sup>26</sup>

Célula Fotovoltáica

Modelo: NSL-881

Marca: Silonex

Nota: Dados adicionais sobre a célula fotovoltáica na tabela IX.17.

Condições de Funcionamento

$V_{CC} = 4,5V$

$I_{mínimo} = 9 \times 10^{-3}$  A

$I_{1mínimo} = 6 \times 10^{-3}$  A

$I_{2mínimo} = 3 \times 10^{-3}$  A

$V_{CFmáximo}$  = tensão máxima gerada pela célula fotovoltáica nas condições de funcionamento do sensor: 0,485V

$V_{CFmínimo}$  = tensão mínima gerada pela célula fotovoltáica nas condições de funcionamento do sensor: 0,025V

Nota: Os valores de  $V_{CC}$ ,  $I_{mínimo}$ ,  $I_{1mínimo}$ ,  $I_{2mínimo}$ ,  $V_{CFmáximo}$  e  $V_{CFmínimo}$  foram obtidos experimentalmente.

- Equação das Malhas

- Malha I

$$V_{CC} - I_2 \cdot R_2 + V_{CF} = 0 \quad \rightarrow \quad (60)$$

$$\rightarrow I_2 \cdot R_2 = V_{CC} + V_{CF} \quad \rightarrow \quad (61)$$

$$\rightarrow R_2 = \frac{V_{CC} + V_{CF}}{I_2} \quad (62)$$

Adotando-se  $V_{CFmáximo}$  resulta:

$$R_2 = \frac{4,5 + 0,485}{I_2} \quad \rightarrow \quad (63)$$

$$\rightarrow R_2 = \frac{4,99}{I_2} \quad (64)$$

- Malha II

$$+ I_2 R_2 - I_1 R_1 + V_{CB} = 0 \quad (65)$$

mas

$$I_{1\text{máximo}} = I_C = 100 \times 10^{-3} \text{ A} \quad (66)$$

$$I_{1\text{mínimo}} = 6 \times 10^{-3} \text{ A} \quad (67)$$

e de (64)

$$I_2 R_2 = 4,99 \quad (68)$$

então, em (65), para  $I_{1\text{máximo}}$

$$4,99 - (100 \times 10^{-3}) \cdot R_1 + V_{CB} = 0 \quad (69)$$

resultando

$$R_1 = \frac{V_{CB} + 4,99}{100 \times 10^{-3}} \quad (70)$$

e, para  $I_{1\text{mínimo}}$

$$4,99 - (6 \times 10^{-3}) \cdot R_1 + V_{CB} = 0 \quad (71)$$

- Malha Externa

$$V_{CC} - R_1 I_C - V_{CE} = 0 \quad (72)$$

que fica, para  $I_{1\text{máximo}}$



$$R_1 = \frac{-V_{CE} + 4,5}{100 \times 10^{-3}} \quad (73)$$

e, para  $I_{\text{mínimo}}$

$$R_1 = \frac{-V_{CE} + 4,5}{6 \times 10^{-3}} \quad (74)$$

somando (70) e (73), para  $I_{\text{máximo}}$

$$\frac{V_{CB} - V_{CE} + 9,49}{100 \times 10^{-3}} = 2R_1 \quad (75)$$

e somando (71) e (74), para  $I_{\text{mínimo}}$

$$\frac{V_{CB} - V_{CE} + 9,49}{6 \times 10^{-3}} = 2R_1 \quad (76)$$

mas, das equações do transistor, vem

$$I_E = I_C + I_B \quad (77)$$

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} \quad (78)$$

e, de (78)

$$V_{CB} - V_{CE} = -V_{BE} \quad (79)$$

e, como de (32)  $V_{BE\text{mínimo}} = 0,6V$  e, segundo Towers<sup>26</sup>

$$V_{BE\text{máximo}} = 6V \quad (80)$$

será adotado

$$V_{BE} = 0,6V \quad (81)$$

assim

$$V_{CB} - V_{CE} = -0,6 \quad (82)$$

Em (75)

$$\frac{-0,6 + 9,49}{100 \times 10^{-3}} = 2R_1 \quad (83)$$

resultando, para  $I_{1\text{máximo}}$ ,

$$R_1 = 44,45\Omega \quad (84)$$

e, em (76)

$$\frac{-0,6 + 9,49}{6 \times 10^{-3}} = 2R_1 \quad (85)$$

resultando, para  $I_{1\text{mínimo}}$

$$R_1 = 740,83\Omega \quad (86)$$

assim, fica

$$44,45\Omega < R_1 < 740,83\Omega \quad (87)$$

Introduzindo  $I_{2\text{mínimo}}$  em (64)

$$R_2 = \frac{4,99}{3 \times 10^{-3}} \quad (88)$$

resultando

$$R_2 = 1663,33\Omega \quad (89)$$

Cálculo da  $BV_{CEO}$ , tensão de ruptura entre coletor e emissor quando a base está aberta

$$BV_{CEO} > V_{CC} \quad (90)$$

$$BV_{CEO} > 4,5V \quad (91)$$

$$BV_{CEO} (\text{Towers}^{26}) = 45V \quad (92)$$

portanto o transistor funciona em sua faixa de operação normal.

Cálculo da potência máxima dissipada

$$P_{Cm\acute{a}ximo} > (V_{CC} - V_{R1}) \cdot I_E \quad (93)$$

$$\begin{aligned} V_{R1m\acute{a}ximo} &= \text{tens\~{a}o m\acute{a}xima no resistor } R_1 \\ &= R_1 \cdot I_{1m\acute{a}ximo} \end{aligned} \quad (94)$$

$$V_{R1} = 44,45 \cdot 100 \times 10^{-3} = 4,45V \quad (95)$$

Em (93)

$$P_{Cm\acute{a}xima} > (4,5 - 4,45) \cdot I_{Em\acute{a}ximo} \quad (96)$$

como  $\beta > 100$ , de (15)  $I_E \cong I_C$

portanto

$$I_{Em\acute{a}ximo} = 100 \times 10^{-3} A \quad (97)$$

fazendo (97) em (96)

$$P_{Cm\acute{a}xima} > (4,5 - 4,45) \cdot 100 \times 10^{-3} \quad (98)$$

$$P_{Cm\acute{a}xima} > 5 \times 10^{-3} W \quad (99)$$

segundo Towers<sup>26</sup>

$$P_{Cm\acute{a}xima} = 300 \times 10^{-3} W \quad (100)$$

O transistor está, portanto, trabalhando em sua faixa normal de operação.

## VI.14 - COMENTÁRIOS SOBRE O CIRCUITO COM CÉLULA FOTOVOLTÁICA

O desenho IX.11 mostra o esquema final para o circuito com célula fotovoltaica.

A análise preliminar do mesmo, realizada como executado para o circuito com fototransistor, isto é, utilizando-se uma pequena lanterna, demonstrou boa sensibilidade para iluminação direta e indireta.

Para os resistores  $R_1$  e  $R_2$  foram escolhidos resistores variáveis de 0 a  $100K\Omega$  que permitiram a calibração do circuito em função de sua utilização.

O bom funcionamento aparente do circuito motivou a construção do 2º protótipo que, em função das dimensões da célula fotovoltaica, pode ser construído em tamanho menor do que o 1º protótipo.

## VI.15 - ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO 2º PROTÓTIPO

Evidentemente a construção do 2º protótipo seguiu a mesma diretriz utilizada para o 1º protótipo, isto é, optou-se pela utilização de seringas descartáveis de plástico mas, como a célula fotovoltaica possui diâmetro de 8,4mm, foi possível utilizar seringas de 3ml de volume pois a célula fotovoltaica pode ser exatamente ajustada no interior do tubo da seringa.

Numa coerência para análise optou-se pela mesma fonte de iluminação, isto é, uma lâmpada Philips modelo 222 (folheto IX.5) e a mesma dimensão de abertura de comunicação entre a câmara da lâmpada e a da célula fotovoltaica.

Após o retrabalho as duas câmaras foram coladas com cola epoxi de secagem rápida respeitando a coincidência de suas aberturas.

As câmaras foram construídas de acordo com os desenhos IX.12 e IX.13, respectivamente, da câmara da lâmpada e da célula fotovoltaica.

Após a junção das duas câmaras foi colocado um tampão construído conforme o desenho IX.14. Todo o conjunto foi, então, interiormente, pintado de preto fosco. Finalmen-

te foram colados a lâmpada e a célula fotovoltaica. Toda a superfície externa do sensor foi então pintada de preto fosco (exceto a parte metálica da lâmpada).

O desenho IX.15 apresenta o êmbolo utilizado, idêntico ao fornecido no conjunto da seringa descartável.

A tensão de saída do circuito foi medida através de um multímetro digital IC-2000 da ICEL.

As figuras 6.18 e 6.19 apresentam os aspectos construtivos do 2º protótipo.

Cabe notar que foi realizada uma primeira montagem com a célula fotovoltaica montada na extremidade próxima da lâmpada e foi registrada uma certa insensibilidade da célula para pequenas aberturas.

Este problema foi solucionado colocando-se a célula fotovoltaica na extremidade oposta à lâmpada, conforme mostra o desenho IX.16, esquema de montagem do 2º protótipo.



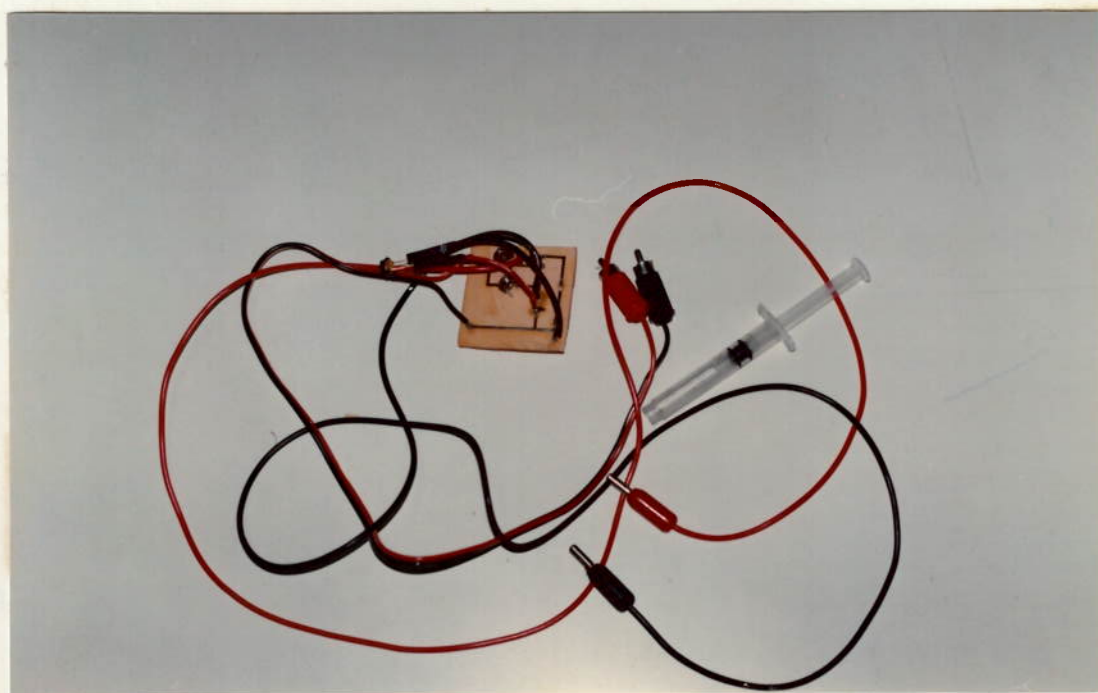


Fig. 6.18 - Aspectos dos componentes do 2º protótipo.

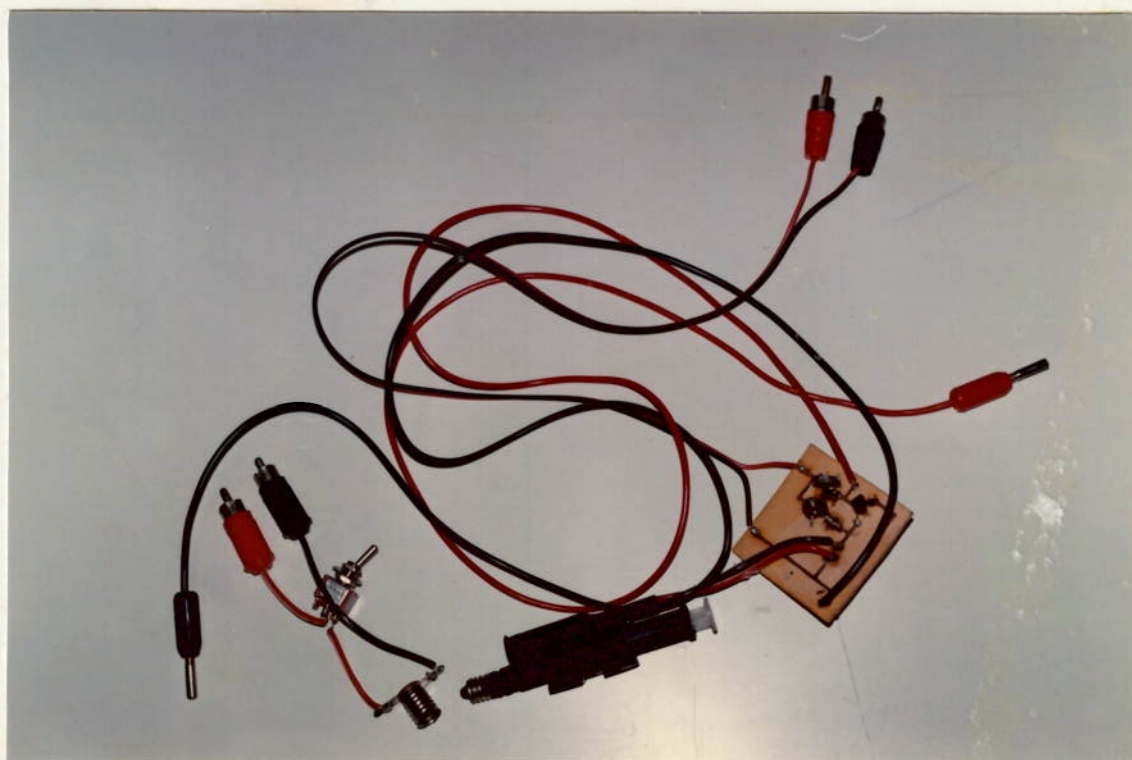


Fig. 6.19 - Aspecto geral do sistema após montagem.

## VI.16 - COMENTÁRIOS

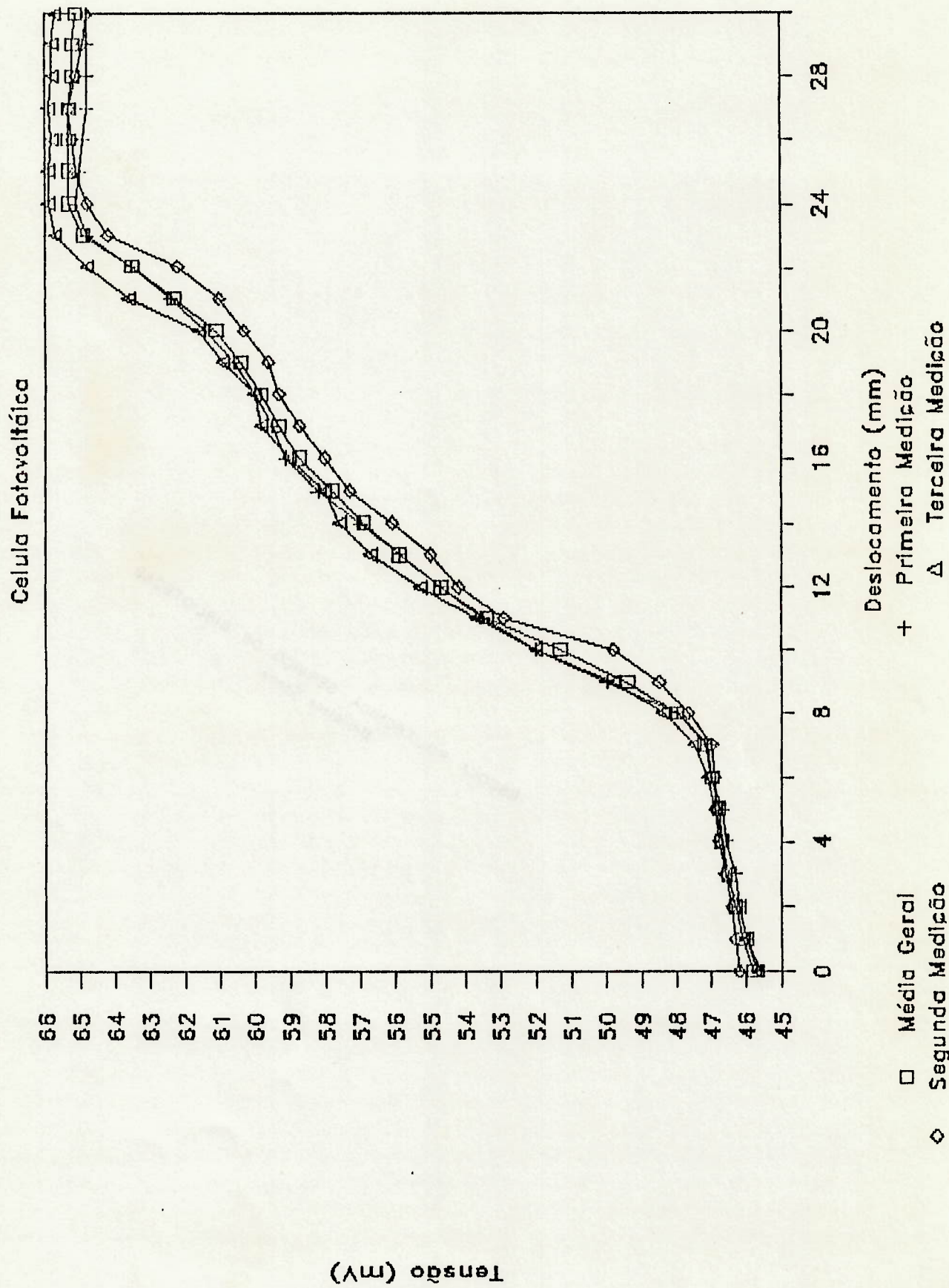
A exemplo do que foi feito para o fotoresistor, também para a célula fotovoltaica foram levantados três conjuntos de medições tensão x deslocamento registrados nos gráficos VI.16A (incluindo as três medições e a média aritmética das mesmas), VI.16B (média geral), VI.16C (primeira medição), VI.16D (segunda medição) e VI.16E (terceira medição).

As curvas tensão x deslocamento do sensor com célula fotovoltaica mostraram melhor precisão que o similar com fotoresistor (1º protótipo) e, adicionalmente, o trabalho com o segundo protótipo demonstrou-se muito mais fácil por não ter sido registrado qualquer tempo de descarga na célula fotovoltaica.

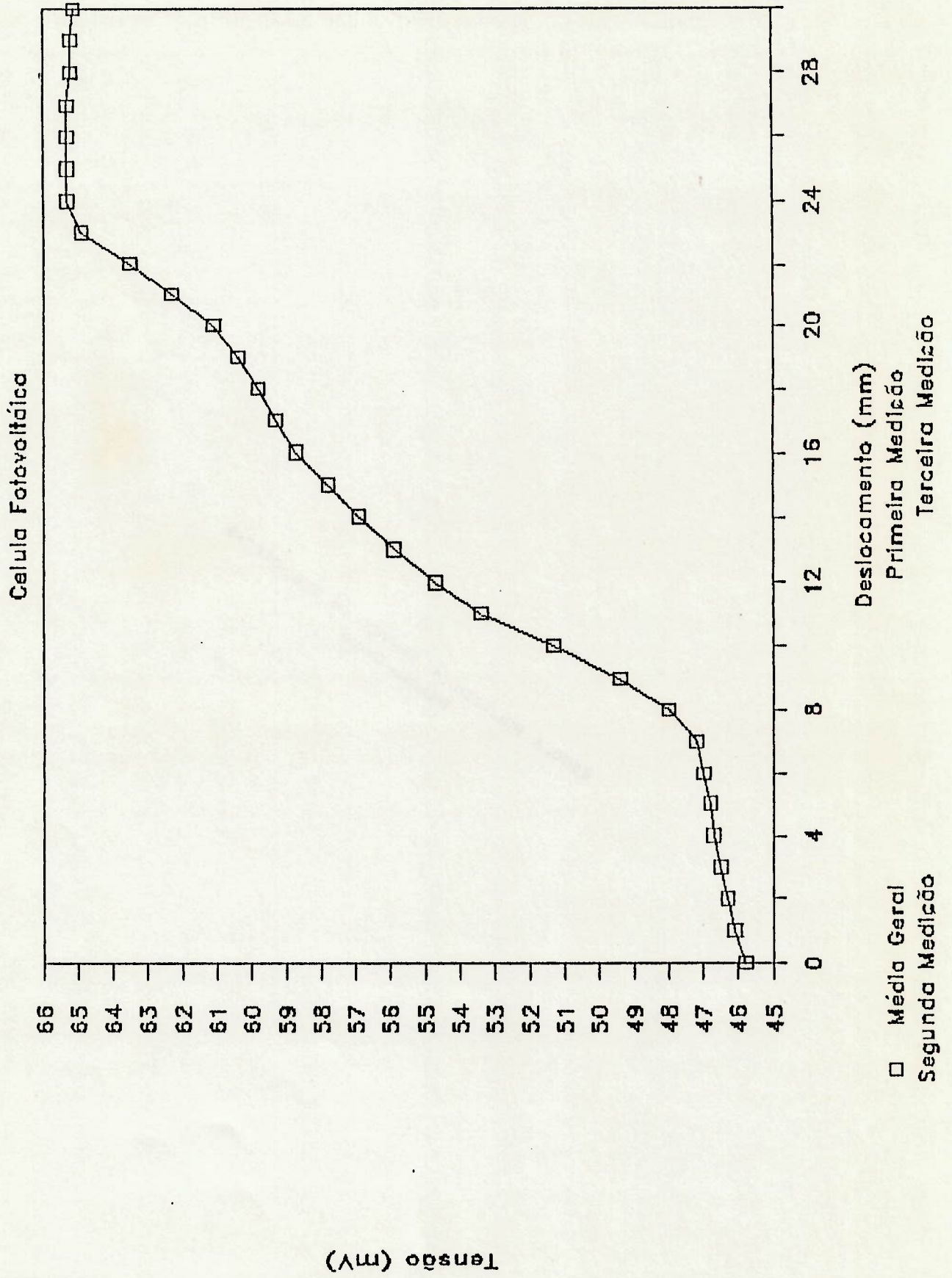
A tabela IX.20 mostra o conjunto de medições tensão x deslocamento para o item VI.16.

Também aqui os gráficos foram levantados em computador com o auxílio do Programa Symphony, versão 1.1, da Lotus Development Corporation.

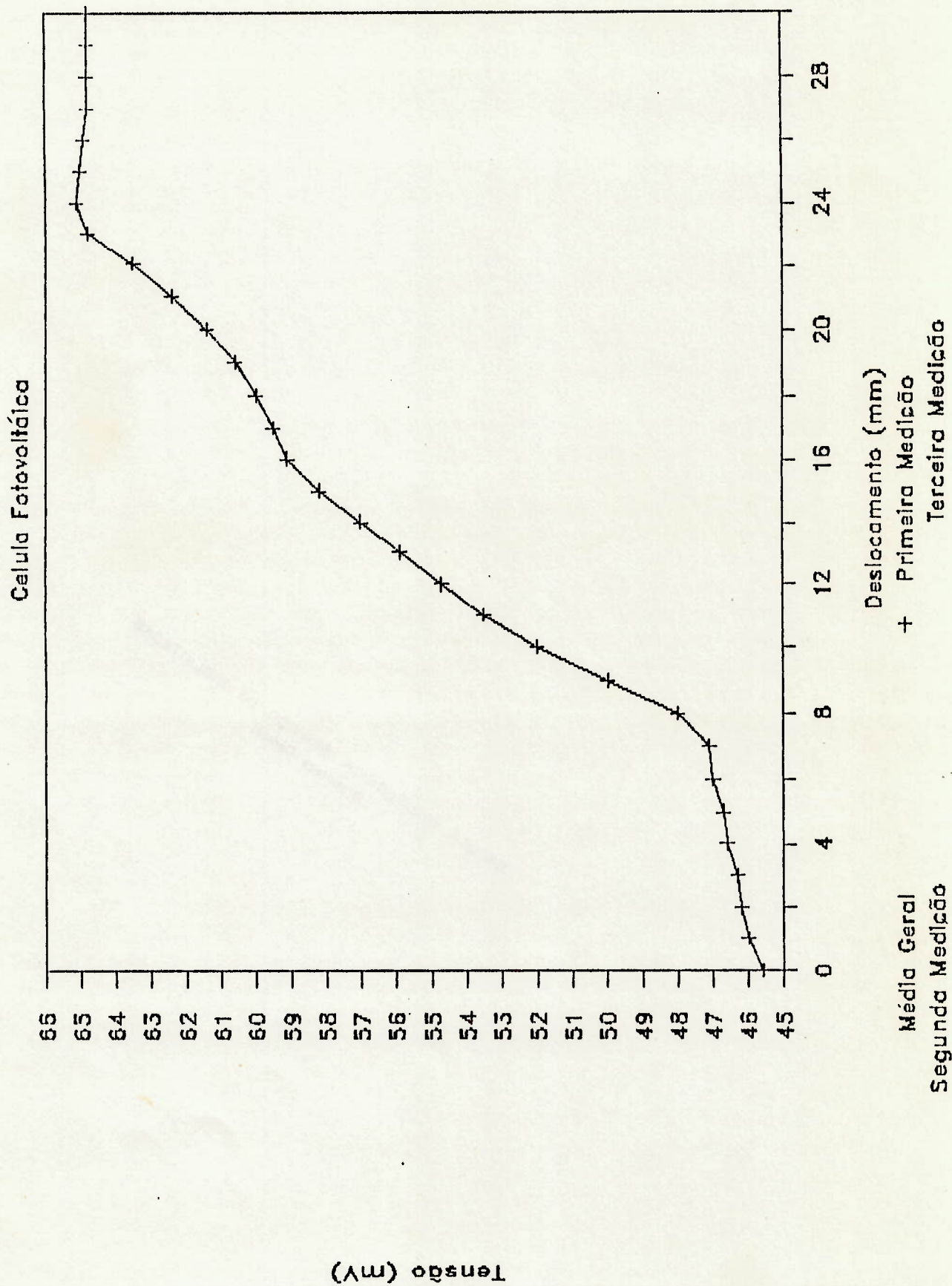
ITEM VI.16A - GRAFICO TENSÃO x DESLOCAMENTO



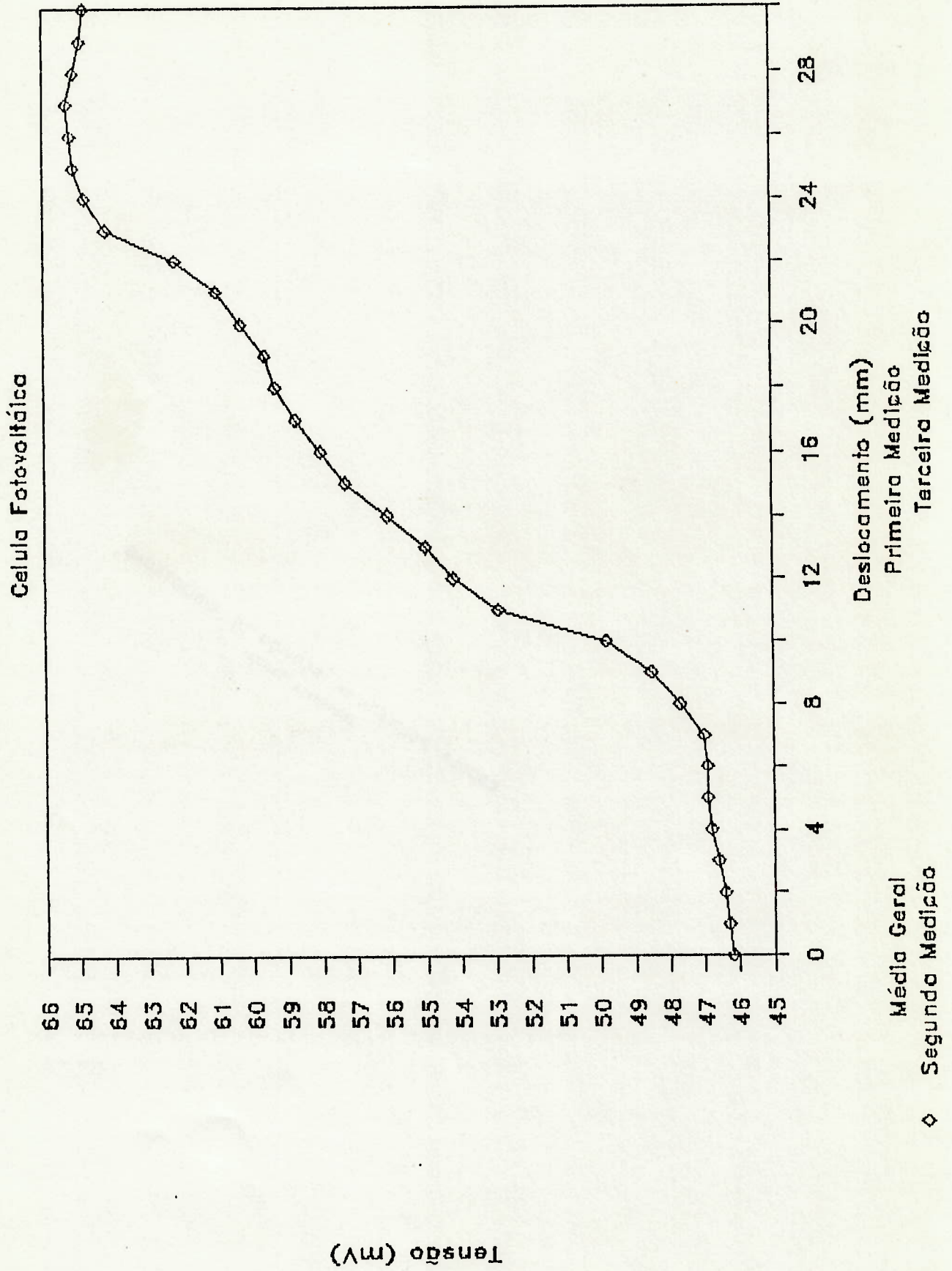
ITEM VI.16B - GRAFICO TENSÃO x DESLOCAMENTO



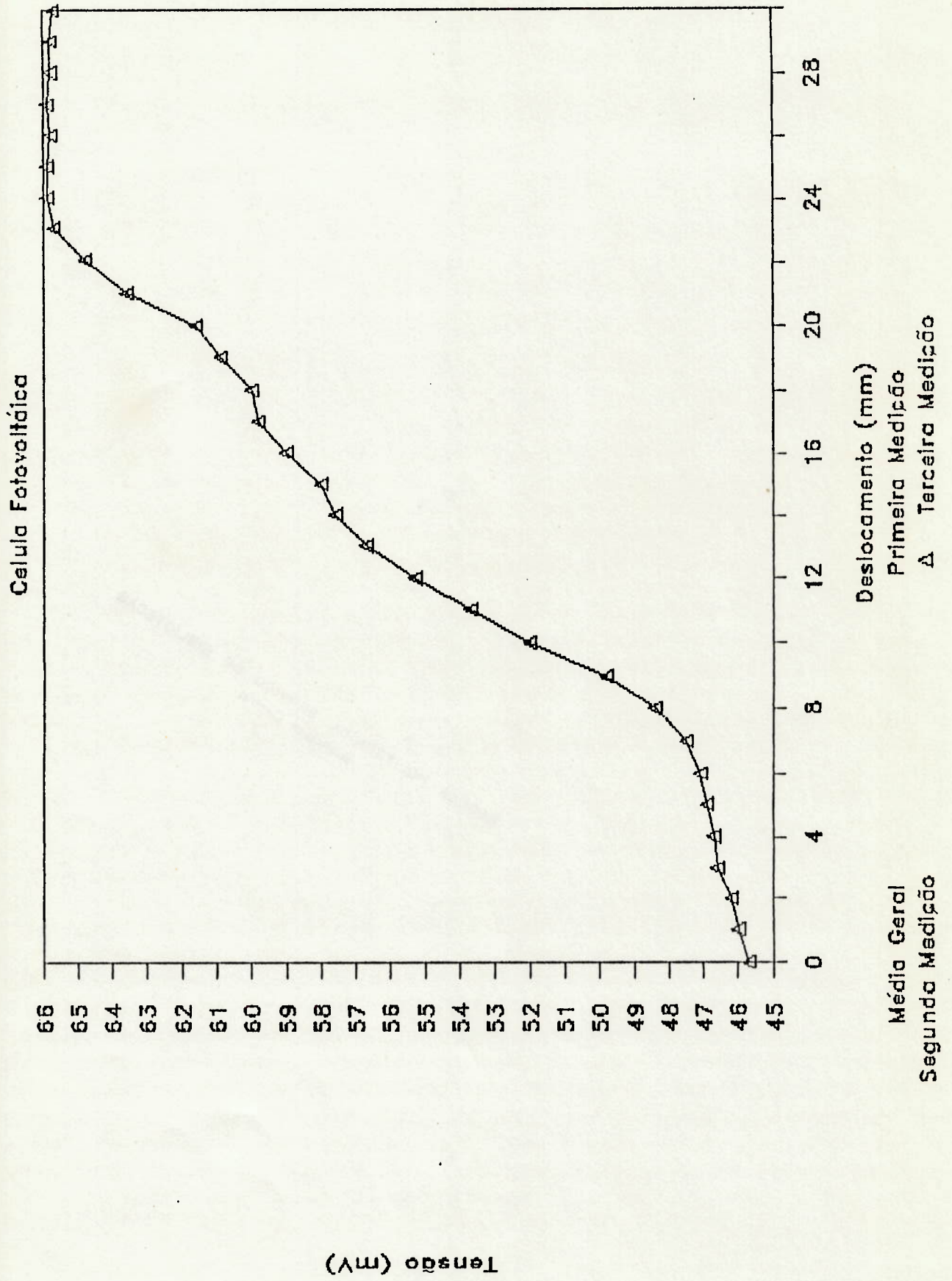
ITEM VI.16c - GRAFICO TENSÃO x DESLOCAMENTO



ITEM VI.16D - GRAFICO TENSÃO x DESLOCAMENTO



# ITEM VI.16E - GRAFICO TENSÃO X DESLOCAMENTO



## VI.17 - COMENTÁRIOS FINAIS

A comparação das curvas VI.6, VI.8 e VI.16 mostrou a clara superioridade do sistema com a célula fotovoltaica em relação ao similar com transmissor.

Não houve, com a célula fotovoltaica tempo de descarga do circuito que pudesse ser detectado pelo multímetro digital mas, mesmo assim, decidiu-se comparar, em laboratório, o tempo de resposta dos dois componentes, isto é, fotoresistor e célula fotovoltaica.

Para tal, os dois componentes foram instalados no interior de uma caixa de papelão de 190 mm X 95 mm X 95 mm, a célula fotovoltaica sem qualquer circuito e o fotoresistor em série com um resistor de 1000  $\Omega$  e alimentado por um conjunto de baterias alcalinas de 3 V.

A caixa de papelão, conforme mostrado na Figura 6.20, é fechada em todas as suas faces, exceto uma, onde foi feita uma abertura de 155 mm X 95 mm, e na face oposta à da abertura, através de furos no papelão, foram introduzidos os terminais dos dois componentes. A caixa de papelão fechada e vedada contra qualquer passagem de luz, através de sua abertura, foi fixada na frente de uma lâmpada estroboscópica de um tacômetro estroboscópico Mecatester TS401, como mostra a Figura 6.21.



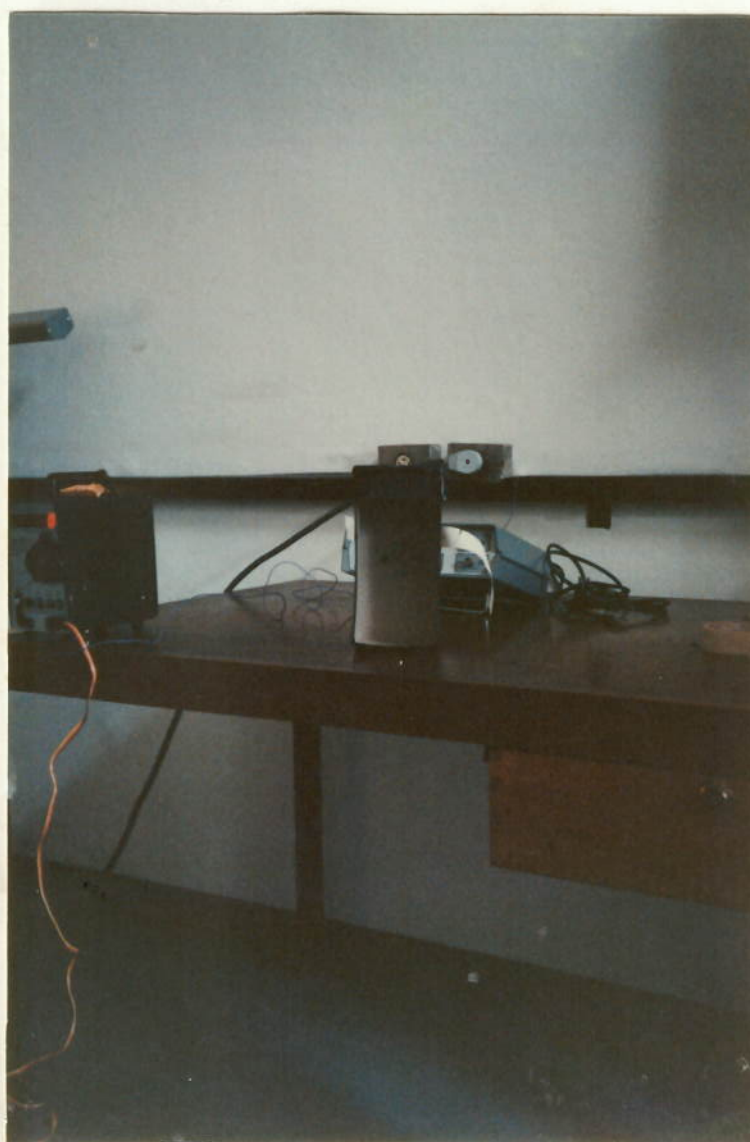


Fig. 6.20 - Aspecto da caixa de papelão para suporte dos componentes em teste

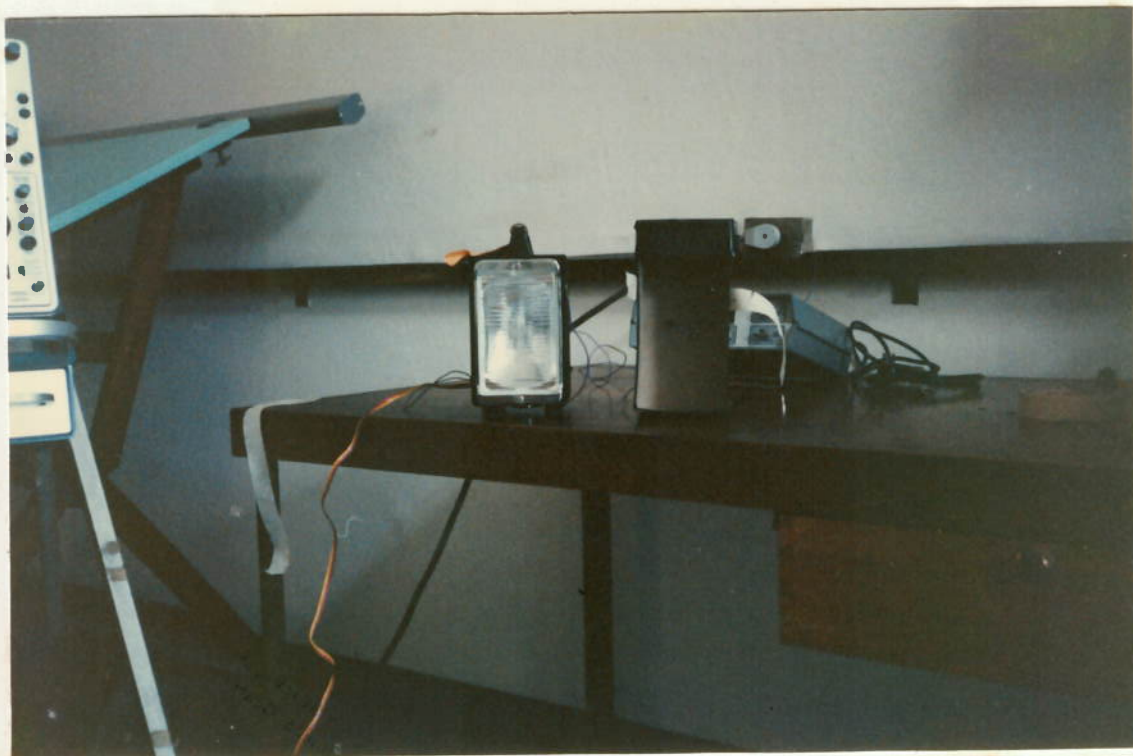


Fig. 6.21 - Aspecto da lâmpada estroboscópica e da caixa de papelão

Cada um dos componentes foi, então, individualmente, conectado a um osciloscópio com memória, marca Tektronix, modelo 564B, ao qual foi acoplada uma câmera fotográfica modelo C-12. A Figura 6.22 mostra essa montagem.



Fig. 6.22 - Aspecto geral do experimento. Sobre a mesa a lâmpada estroboscópica acoplada à caixa suporte. No carrinho, na parte inferior, a unidade fonte da lâmpada e, na superior, o osciloscópio (à direita) e a câmera fotográfica (à esquerda). Em operação, a câmera dobra-se sobre a tela do osciloscópio

A lâmpada estroboscópica não é incandescente e permite a iluminação imediata do componente. Este gera uma tensão que é captada e registrada pelo osciloscópio em sua tela, que é fotografada para análise. A lâmpada estroboscópica é capaz de ser ligada e desligada em frequências determinadas previamente e, cada vez que a mesma é ligada, a face sensora do componente é iluminada por um período de tempo decorrente da frequência escolhida. O osciloscópio registra os picos de tensão em função do tempo. Este registro torna possível a comparação entre os tempos de resposta dos dois componentes.

## CURVAS DO FOTORESISTOR (TEMPO X TENSÃO - TXV)

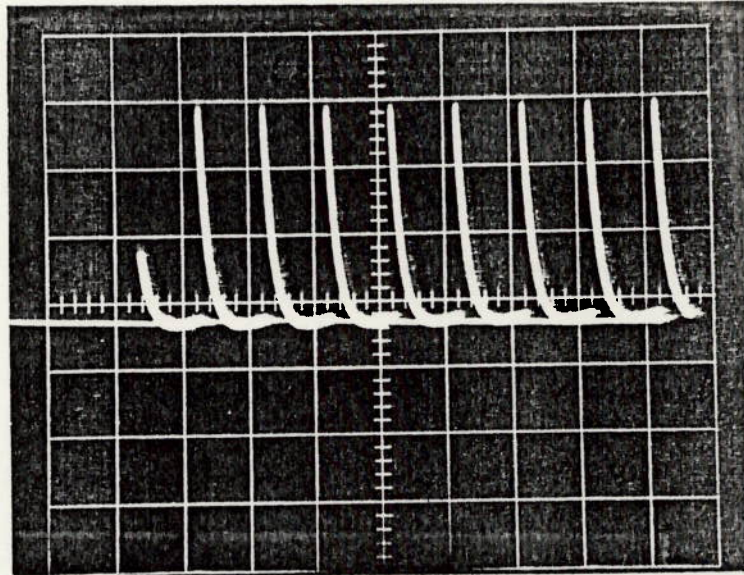


Fig. 6.23 - Curva TXV do fotoresistor  
para frequência de 2 Hz

● CONDIÇÕES DO TESTE 1

- Lâmpada estroboscópica
  - . frequência: 2 Hz
- Osciloscópio
  - . escala vertical: 0,5 V/Divisão
  - . escala horizontal: 0,5 s/Divisão
  - . intensidade do traço: 8/12
  - . iluminação da escala: 3/4
- Câmera fotográfica
  - . abertura: 16
  - . tempo de exposição: 3 s

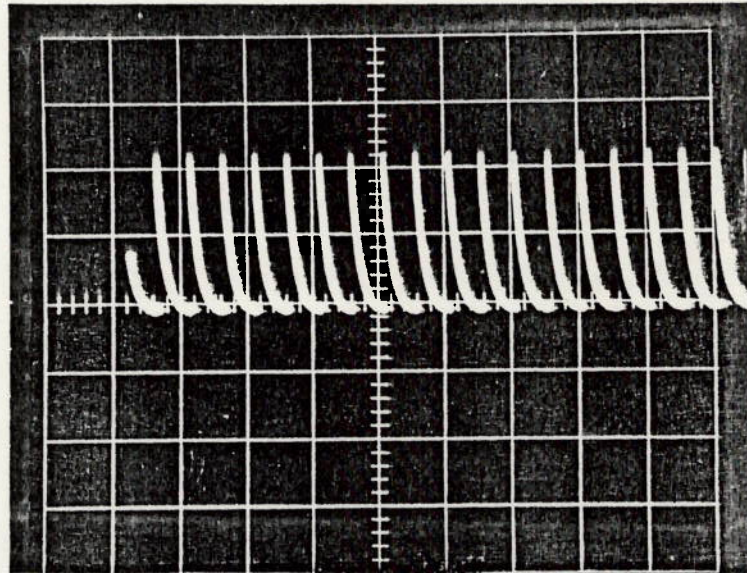


Fig. 6.24 - Curva TXV do fotoresistor  
para frequência de 4 Hz

● CONDIÇÕES DO TESTE 2

- Lâmpada estroboscópica

. frequência: 4 Hz

- Osciloscópio

. escala vertical: 0,5 V/Divisão

. escala horizontal: 0,5 S/Divisão

. intensidade do traço: 8/12

- iluminação da escala: 3/4

- Câmera fotográfica

. abertura: 16

. tempo de exposição: 3 s

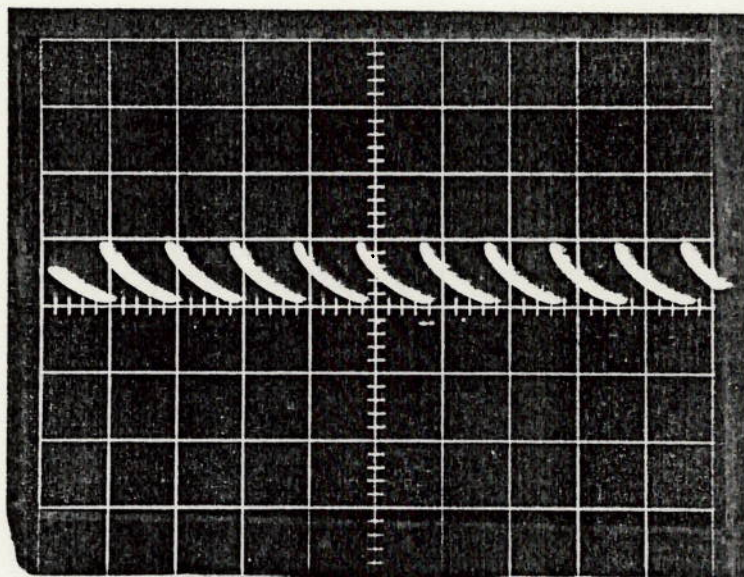


Fig. 6.25 - Curva TXV do fotoresistor  
para freqüência de 20 Hz

● CONDIÇÕES DO TESTE 3

- Lâmpada estroboscópica

. freqüência: 20 Hz

- Osciloscópio

. escala vertical: 0,5 V/Divisão

. escala horizontal: 50 m S/Divisão

. intensidade do traço: 1/2

. iluminação da escala: 3/4

- Câmera fotográfica

. abertura: 8

. tempo de exposição: 1 s

## CURVAS DA CÉLULA FOTOVOLTÁICA (TEMPO X TENSÃO - TXV)

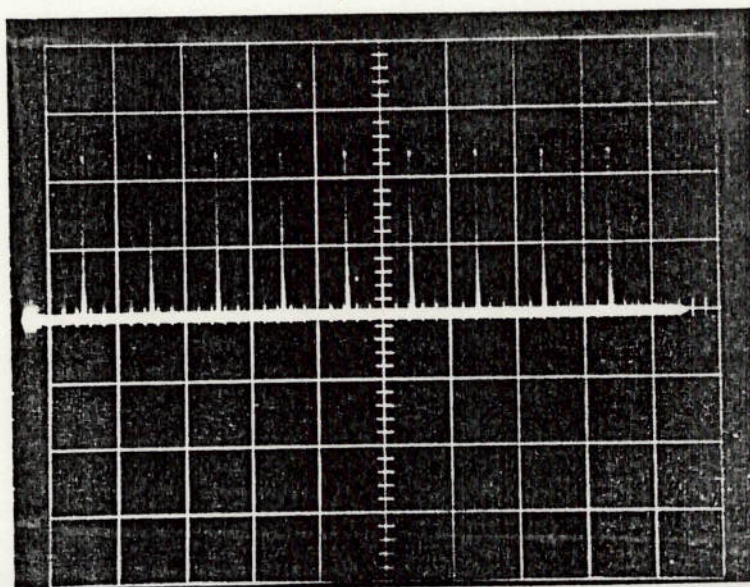


Fig. 6.26 - Curva TXV da célula fotovoltaica para frequência de 2 Hz

- CONDIÇÕES DO TESTE 4

- Lâmpada estroboscópica

- . frequência: 2 Hz

- Osciloscópio

- . escala vertical: 0,2 V/Divisão

- . escala horizontal: 0,5 S/Divisão

- . intensidade do traço: 8/12

- . iluminação da escala: 3/4

- Câmera fotográfica

- . abertura: 16

- . tempo de exposição: 5 s



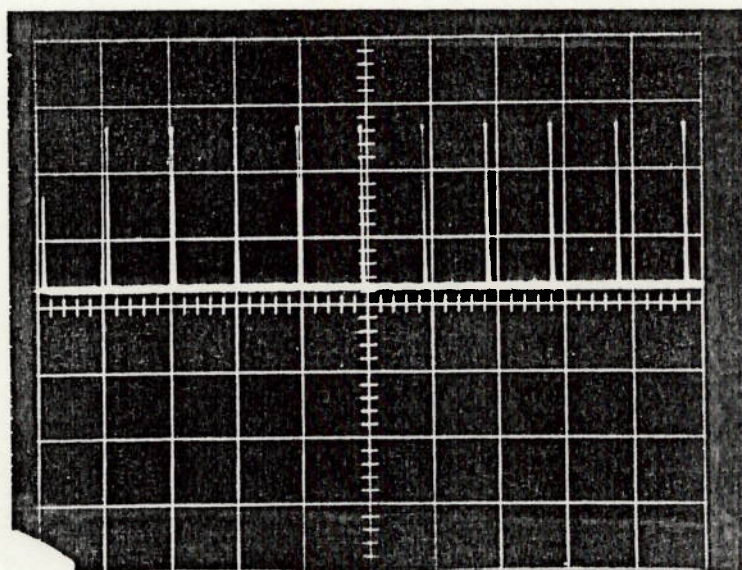


Fig. 6.27 - Curva TXV da célula fotovoltaica para frequência de 20 Hz

● CONDIÇÕES DO TESTE 5

- Lâmpada estroboscópica

. frequência: 20 hz

- Osciloscópio

. escala vertical: 0,2 V/Divisão

. escala horizontal: 50 m S/Divisão

. intensidade do traço: 1/2

. iluminação da escala: 3/4

- Câmera fotográfica

. abertura: 8

. tempo de exposição: 1 s

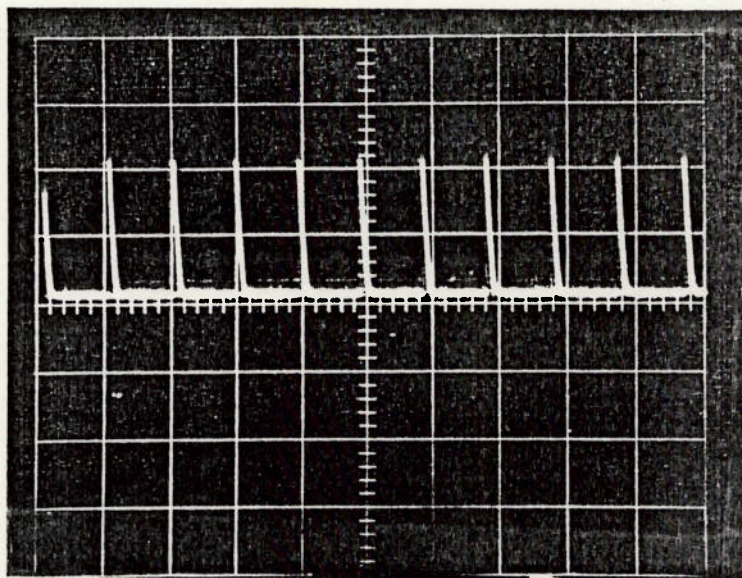


Fig. 6.28 - Curva TXV da célula fotovoltaica para frequência de 200 Hz

● CONDIÇÕES DO TESTE 6

- Lâmpada estroboscópica

. frequência: 200 Hz

- Osciloscópio

. escala vertical: 0,2 V/Divisão

. escala horizontal: 5 m S/Divisão

. intensidade do traço: 1/2

. iluminação da escala: 3/4

- Câmera fotográfica

. abertura: 8

. tempo de exposição: 1 s

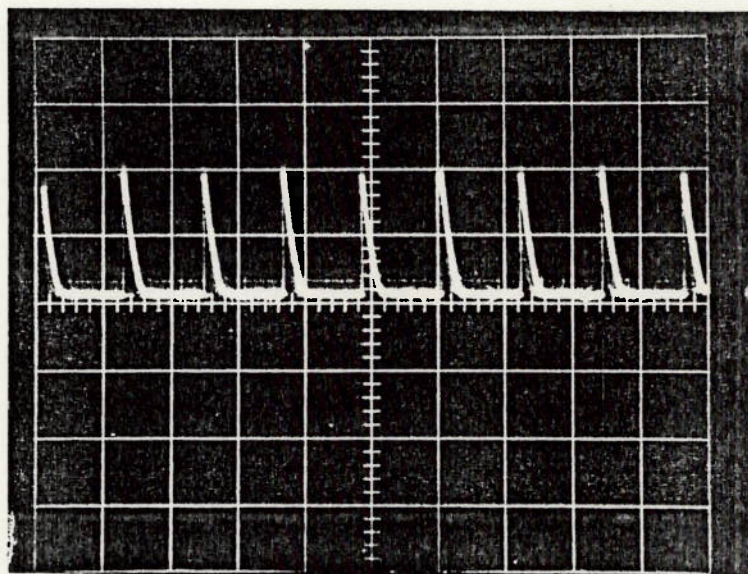


Fig. 6.29 - Curva TXV da célula fotovoltaica para frequência de 400 Hz

● CONDIÇÕES DO TESTE 7

- Lâmpada estroboscópica

. frequência: 400 Hz

- Osciloscópio

. escala vertical: 0,2 V/Divisão

. escala horizontal: 2 m S/Divisão

. intensidade do traço: 1/2

. iluminação da escala: 3/4

- Câmera fotográfica

. abertura: 8

. tempo de exposição: 1 s

CAPÍTULO VII

ANÁLISE DOS RESULTADOS

## CAPÍTULO VII

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

As curvas tensão x deslocamento levantadas, itens VI.6, VI.8 e VI.16, como já abordado, demonstraram a superioridade da célula fotovoltaica em relação ao fotoresistor.

As curvas TXV levantadas no osciloscópio confirmaram a perspectiva acima pois, embora o fotoresistor apresente um tempo de resposta bastante curto, representado pela reta praticamente vertical da carga do componente, o tempo de retorno observado foi bastante lento e, em frequências mais altas como as do Teste 3, isto é, 20 Hz, observou-se uma superposição de curvas representada pela interrupção da curva descendente de descarga.

Embora 20 Hz possa ser uma frequência aceitável para um sistema de reconhecimento de tato, a célula fotovoltaica reagiu melhor ao ensaio com osciloscópio com alteração desprezível entre os Testes 4 e 5, isto é, 2 e 20 Hz. Houve alterações sensíveis em frequências maiores, 200 e 400 Hz, Testes 6 e 7, bastante altas para operações de reconhecimento tátil.

Quanto ao protótipo, sua construção e operação foi factível, podendo, evidentemente, servir de base para futuros desenvolvimentos.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS PARA  
CONTINUIDADE DAS PESQUISAS E  
APLICAÇÃO FUTURA

CAPÍTULO VIII  
CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS PARA CONTINUIDADE  
DAS PESQUISAS E APLICAÇÃO FUTURA

Os objetivos do trabalho foram plenamente atingidos.

O protótipo demonstrou-se viável e, conseqüentemente, serviu aos propósitos a que se destinava.

Cabe, agora, expor algumas diretrizes para a continuidade do trabalho.

Primeiramente, é preciso fazer uma redução drástica nas dimensões gerais do sensor, embora entre o 1º e o 2º protótipos já tenha havido uma sensível redução em seu volume.

Uma condição decisiva e proposta nos primeiros esboços do protótipo é a separação entre o sensor, o emissor e o transdutor.

Um primeiro passo será a substituição do êmbolo por uma haste substancialmente menor. Uma idéia inicial é o emprego de haste de cabeçote de impressora, bastante compacto e leve.

Quanto à separação entre as câmaras parece uma solução promissora a utilização de fibras óticas como elementos condutores entre a fonte luminosa, a câmara do sensor e o transdutor.

A Figura 8.1 apresenta um primeiro esboço destas propostas mas, embora tais pesquisas já tenham sido iniciadas, os resultados têm sido bastante precários até o momento.

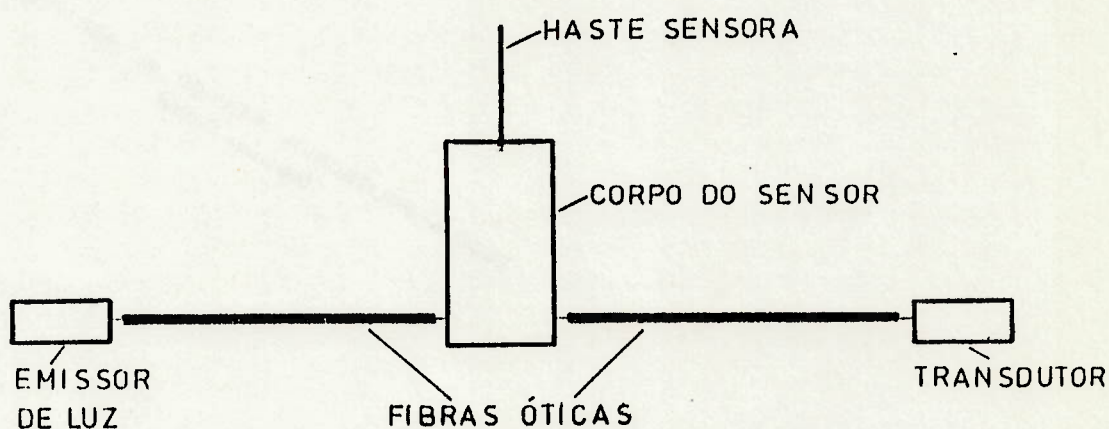


Fig. 8.1 - Esboço inicial para futuro desenvolvimento

Cabe agora analisar uma perspectiva para aplicação futura do sensor. A primeira hipótese é a construção de matrizes, onde cada ponto será um sensor.



A colocação dos sensores paralelamente num plano único certamente gerará a detecção da forma do objeto de maneira mais limitada do que se os sensores estivessem distribuídos igualmente em planos que envolvessem todo o volume do objeto.

Uma primeira incursão neste sentido foi realizada adotando-se um cubo de 50 mm de aresta, como forma padrão, e um cilindro de isopor de 100 mm de diâmetro externo, simulando uma garra de robô, de formato cilíndrico, e utilizando palitos de madeira de 230 mm de comprimento como hastes sensoras, como mostra a Figura 8.2.

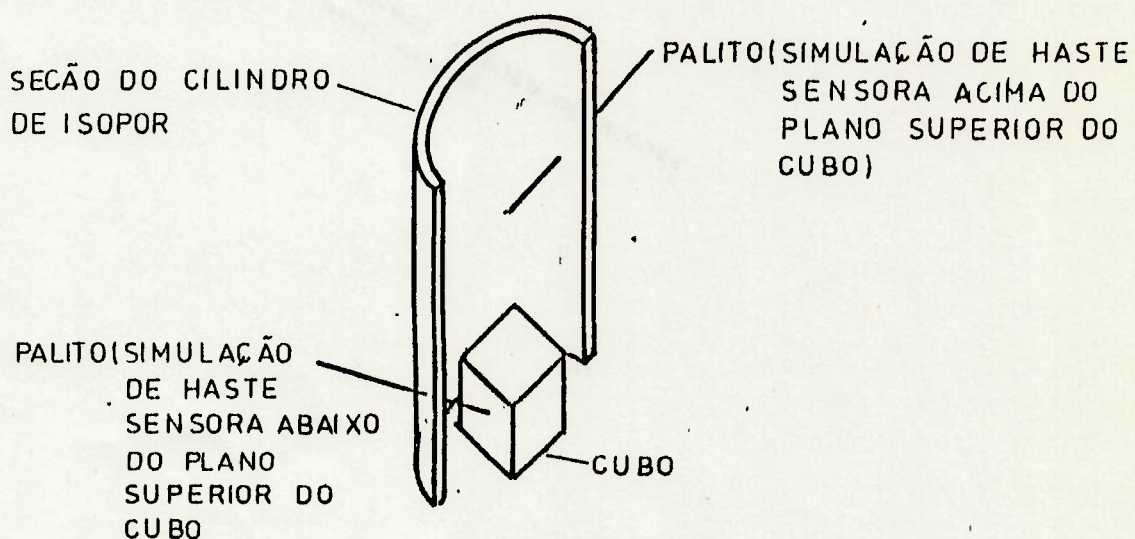


Fig. 8.2 - Primeira simulação da garra

Neste primeiro modelo, os palitos estão dispostos radialmente no cilindro, espaçados de  $5^\circ$  em 14 planos horizontais, de tal forma que haja 1008 palitos no cilindro.

Embora não haja qualquer preocupação nesta fase com a movimentação ou segmentação da garra, nota-se que não há, considerando-se o cubo padrão, detecção no plano superior deste cubo.

Uma segunda proposta é trabalhar ainda com os palitos, mas com uma semi-esfera, também de isopor, com 170 mm de diâmetro externo.

Neste modelo os palitos estão dispostos radialmente espaçados de  $5^\circ$ , formando u'a matriz semi-esférica, com 1225 palitos.

Esta nova solução, mostrada na Figura 8.3, permite um sensoramento melhor das formas a serem detectadas em função

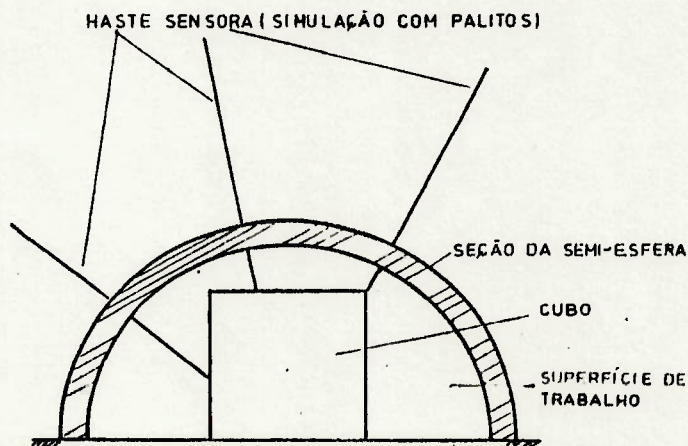


Fig. 8.3 - Outra simulação para a garra do robô

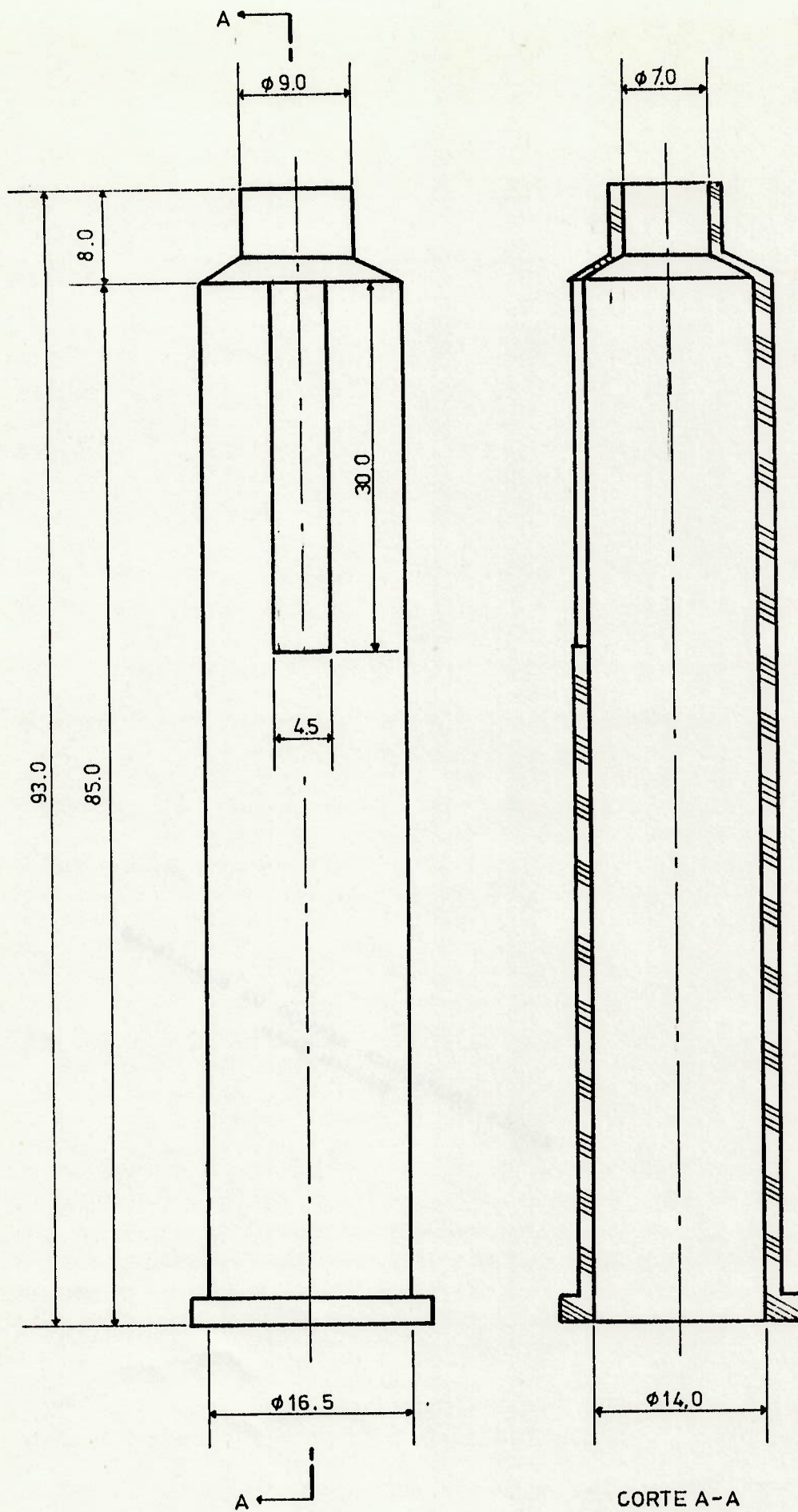
da maior quantidade de sensores instalados e a possibilidade de se ter sensores em quase todas as direções.

De qualquer forma, é neste momento, imprescindível que, a partir da concepção do sensor desenvolvida neste trabalho, seja construído um sensor definitivo em função do qual se poderá melhor desenvolver a garra do robô.

Embora se tenha concentrado a perspectiva de aplicação do sensor em reconhecimento robótico de tato, aparentemente o sensor desenvolvido pode ser usado em diversas aplicações relacionadas à detecção de deslocamento linear.

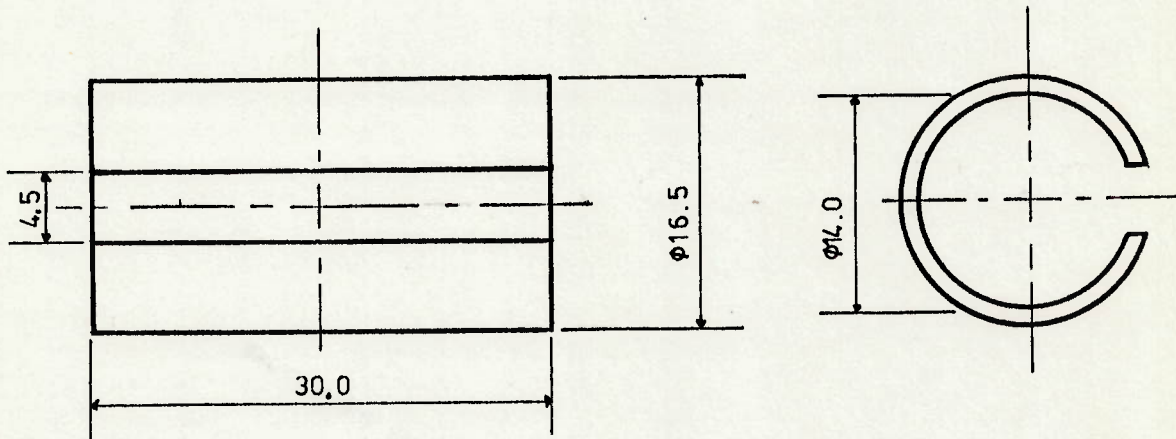
CAPÍTULO IX

APÊNDICES



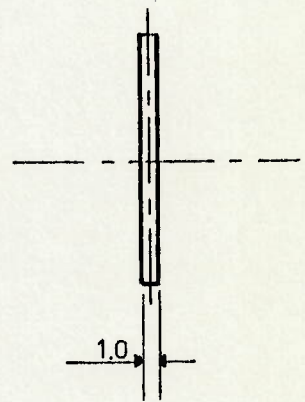
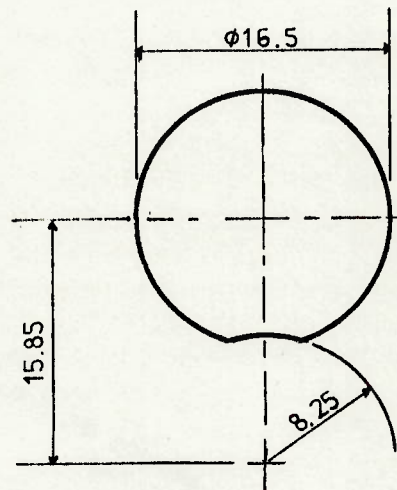
DIMENSÕES EM mm

MATERIAL	DESENHADO POR	DATA	DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE DE TATO PARA ROBÔ	
PLÁSTICO	WALTER	15/12/89		
ESCALA	TÍTULO DO PROJETO		DESENHO	FOLHA
2:1	CÂMARA DA LÂMPADA		IX.1	149
	1º PROTÓTIPO			



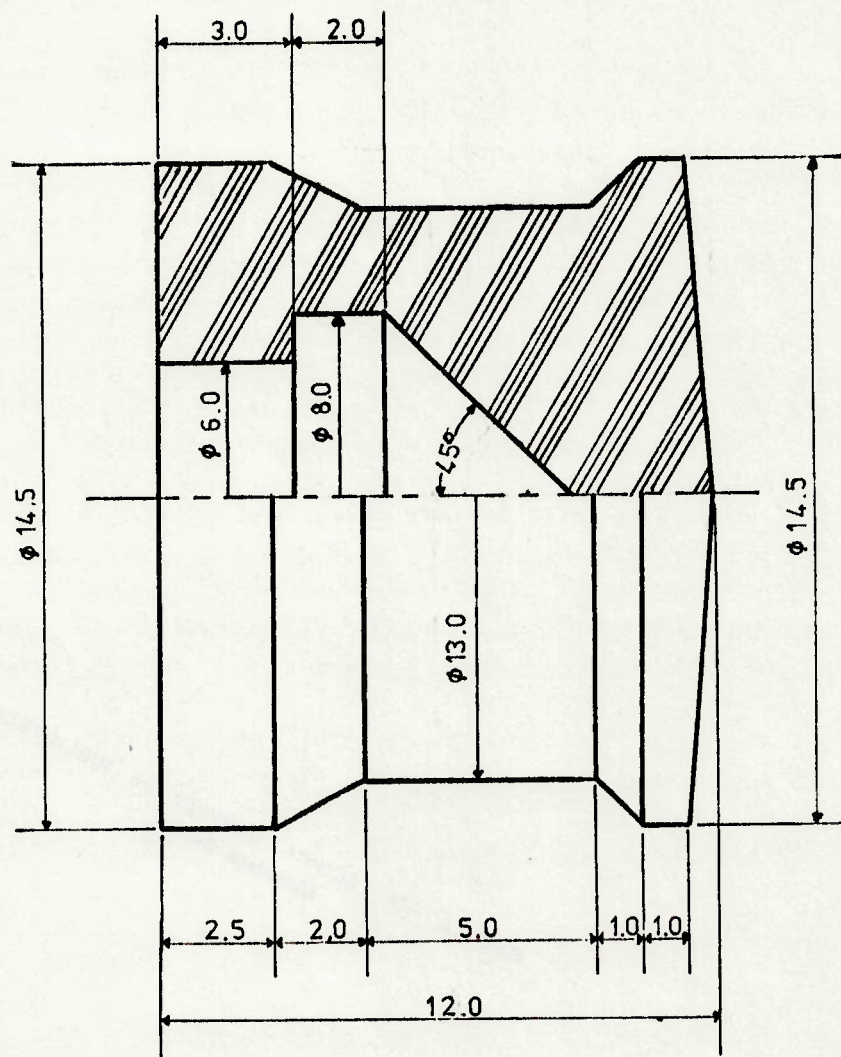
DIMENSÕES EM mm

MATERIAL PLÁSTICO	DESENHADO POR WALTER	DATA 15/12/89	DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE TATO PARA ROBÔ	
ESCALA 2:1	TÍTULO DO PROJETO CÂMARA DO FOTORESISTOR 1º PROTÓTIPO		DESENHO IX.2	FOLHA 150



DIMENSÕES EM mm

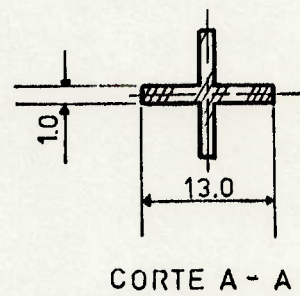
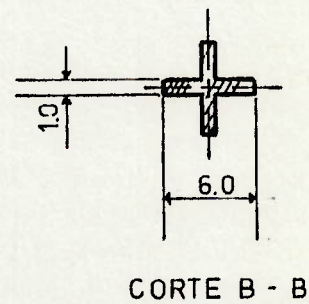
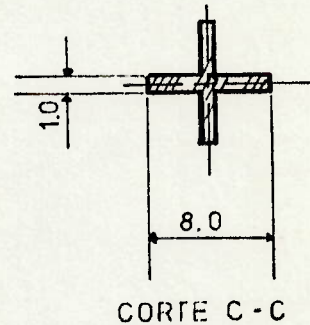
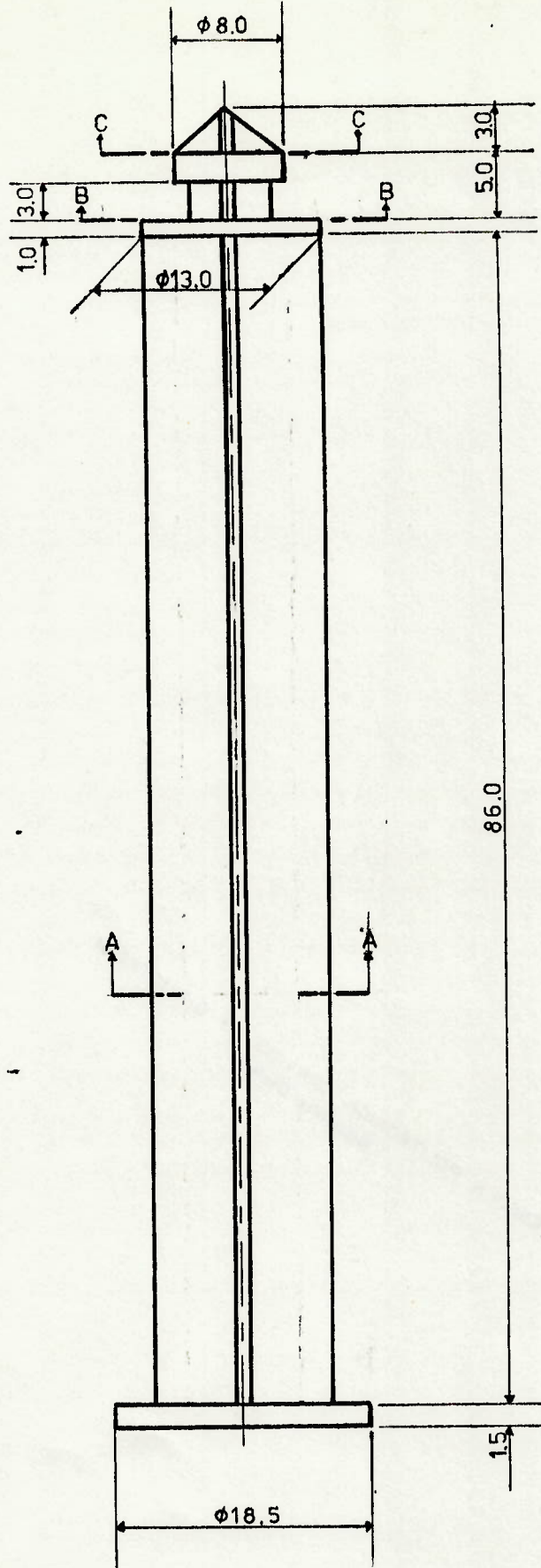
MATERIAL	DESENHADO POR	DATA	DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE DE TATO PARA ROBÔ	
ALUMÍNIO	WALTER	15/12/89		
ESCALA	TÍTULO DO PROJETO		DESENHO	FOLHA
2:1	TAMPÃO - 1ª PROTÓTIPO		IX.3	151



DIMENSÕES EM mm

MATERIAL	DESENHADO POR	DATA	DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE TATO PARA ROBÔ	
BORRACHA	WALTER	15/12/89		
ESCALA	TÍTULO DO PROJETO		DESENHO	FOLHA
6:1	ÊMBOLO-1º PROTÓTIPO		IX.4	152





DIMENSÕES EM mm

MATERIAL	DESENHADO POR	DATA	DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE TATÔ PARA ROBÔ	
PLÁSTICO	WALTER	15/12/89		
ESCALA	TÍTULO DO PROJETO		DESENHO	FOLHA
2:1	HASTE SENSORA - 1º PROTÓTIPO		IX.4A	153

## TABELA IX.5 - LÂMPADA

# Philips Iluminação

Informações do Produto

## Lâmpadas Miniaturas

### Características Gerais

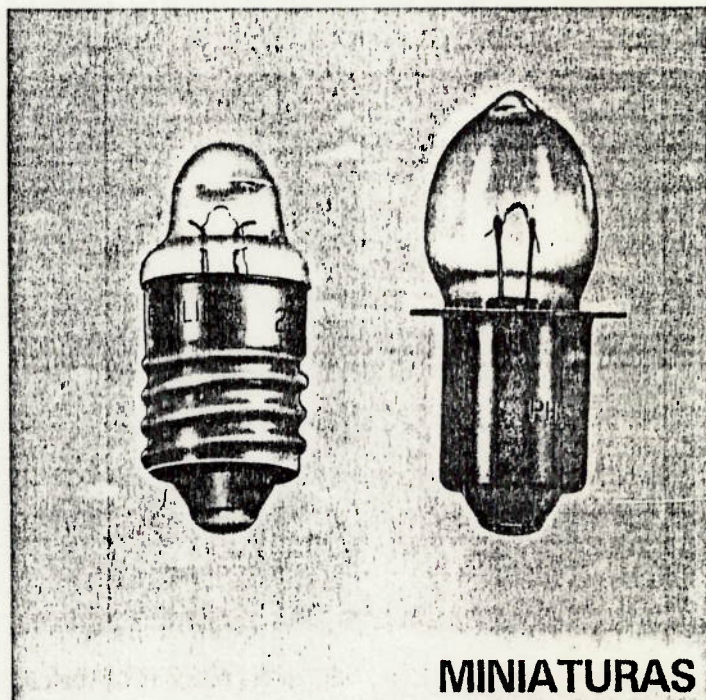
Com a constante evolução dos mais diversos setores industriais, fez-se necessário que novos tipos de lâmpadas para aplicações especiais fossem criados.

A confiabilidade é uma das mais importantes exigências para os vários usos a que se destinam. A correta escolha determinará um melhor desempenho.

Dada às suas características elétricas, estas lâmpadas têm múltiplas aplicações, dependendo apenas das necessidades para as quais são solicitadas, principalmente em diversos tipos de painéis de comando e controle, equipamentos de telecomunicação, eletrodomésticos, lanternas de mão, brinquedos, instrumentos óticos etc.

Choques, vibrações, flutuações de tensão e grandes diferenças de temperatura podem prejudicar o bom funcionamento das lâmpadas e sua vida útil.

Dentre os tipos produzidos, podemos destacar as conhecidas como "pingo d'água", que possuem uma lente na extremidade do bulbo, o que possibilita a obtenção de um foco de luz concentrado, sem a necessidade do uso de um refletor. Destinam-se ao uso em lanternas de dimensões reduzidas.



MINIATURAS

Código Comercial	Figura	Tensão V	Corrente A	Base	Comprimento máximo (mm)	Diâmetro máx. (mm)	Peso g
12	1	1,2	0,22	E-10	23,5	9,0	1,60
22	1	2,2	0,25	E-10	23,5	9,0	1,60
PR-2	2	2,4	0,50	P13,5S	30,0	11,0	1,90
PR-3	2	3,6	0,50	P13,5S	30,0	11,0	1,90
PR-13	2	4,75	0,50	P13,5S	30,0	11,0	1,90

### Dimensões (mm)

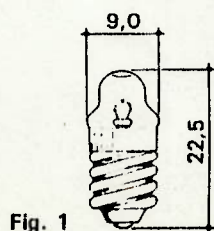


Fig. 1

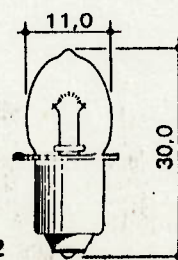


Fig. 2

As células fotoelétricas de sulfeto de cádmio são também conhecidas como fotoresistores ou LDR (Light Dependent Resistor). Elas possuem a característica de sua resistência elétrica variar, inversamente, com o fluxo luminoso recebido.

**CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS**

As fotocélulas TECNOWATT são fabricadas a partir de um substrato cerâmico de elevada pureza sobre o qual é sintetizado a camada foto sensível de sulfeto de cádmio e posteriormente fixados os eletrodos.

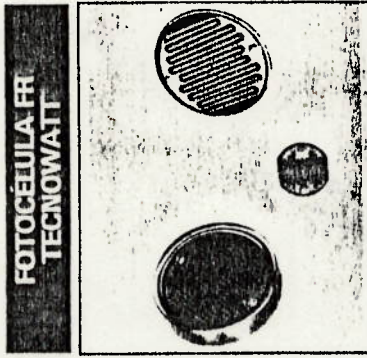
Este processo de fabricação permite melhor aproveitamento da área do substrato para dissipação do calor, assim como a fixação dos terminais junto com a deposição dos eletrodos evita contatos elétricos sujeitos a oxidação e intermitência de funcionamento devido a vibrações.

Os fotoresistores TECNOWATT são envernizados e/ou encapsulados em invólucro transparente para aumentar sua vida útil, imunizá-los contra os agentes atmosféricos e protegê-los mais eficazmente contra sobre tensões elétricas.

**APLICAÇÃO**

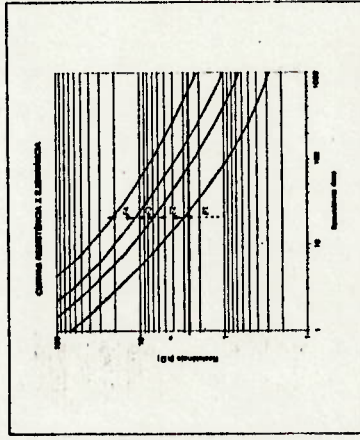
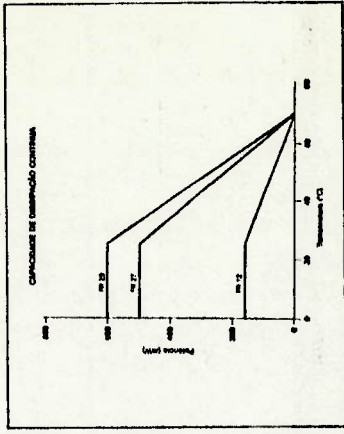
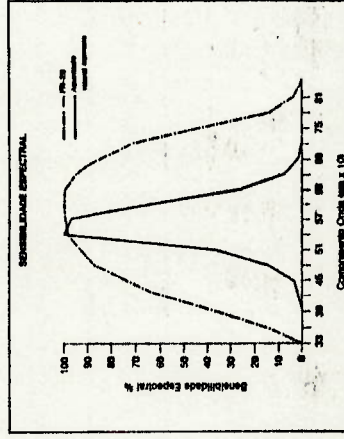
Como sensores opto-eletrônicos encontram aplicações em diversas áreas, tais como: contadores de peças, dispositivos de prevenção contra acidentes de trabalho, indicadores de nível, relés fotoelétricos para comando de iluminação, chaves liga/desliga controladas por luz, controles automáticos de brilho para televisores e de intensidade luminosa de display's, brinquedos comandados por luz, fotômetros, medidores de nível de poluição, etc...

Os fotoresistores TECNOWATT apresentam alta confiabilidade, vida longa, resistência às intempéries, alta dissipação de potência e custo relativamente baixo.



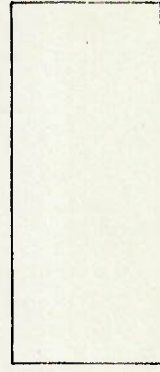
**CARACTERÍSTICAS FOTORESISTIVAS**

FAIXA	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
RESISTÊNCIA A 10 lux (kΩ)	< 6	6 a 12	12 a 20	20 a 40	< 6	6 a 12	12 a 20	20 a 40	< 6	6 a 12	12 a 20	20 a 40
RESISTÊNCIA NO ESCURO (MΩ)	> 1.5	> 2.5	> 4	> 6	> 2.5	> 5	> 10	> 20	> 2.5	> 5	> 10	> 20
RELAÇÃO P <sub>0</sub> lux / R <sub>20</sub> lux	> 2.3	> 2.3	> 2.3	> 2.3	> 2.3	> 2.3	> 2.3	> 2.3	> 2.3	> 2.3	> 2.3	> 2.3



Proibida reprodução sem a autorização expressa. Viésado e constante acompanhamento de nossos produtos, reservamo-nos o direito de modificá-los sem prévia comunicação.

06/89

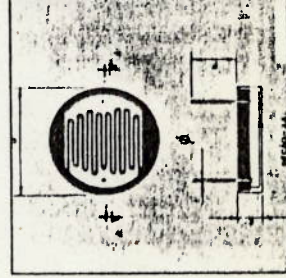


**TECNOWATT ILLUMINAÇÃO S/A**  
MATRIZ  
Rua Triunfo de Araxá, Viana, 1.228  
Cidade, 32010 - Contagem-MG - Brasil  
Fone: (031) 351-0222  
Telex: (31) 6219 - Fax: (031) 351-9306

ESK DE VENDAS  
Av. Paulista, 2006 - 5º Andar - Cora, 508  
Cep. 01310 - São Paulo-SP - Brasil  
Fones: (011) 285-4151 285-1027  
Telex: (011) 39646

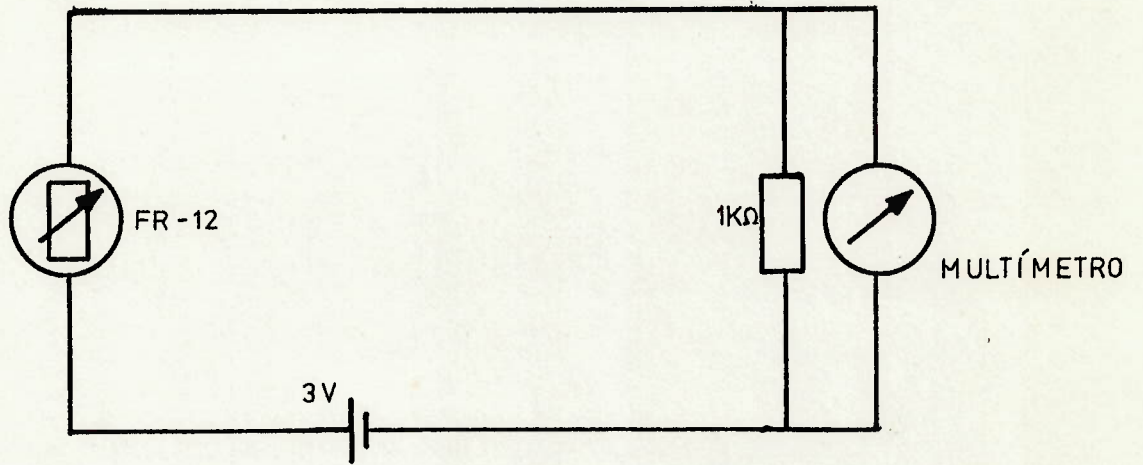
**CARACTERÍSTICAS DE TRABALHO**

PICO DE RESPOSTA ESPECTRAL (nm)	630
POTÊNCIA MÁXIMA 25°C (mW)	150 750 1000
TENSÃO MÁXIMA CC (V)	200 500 500
TEMPERATURA (°C)	-40 a +70

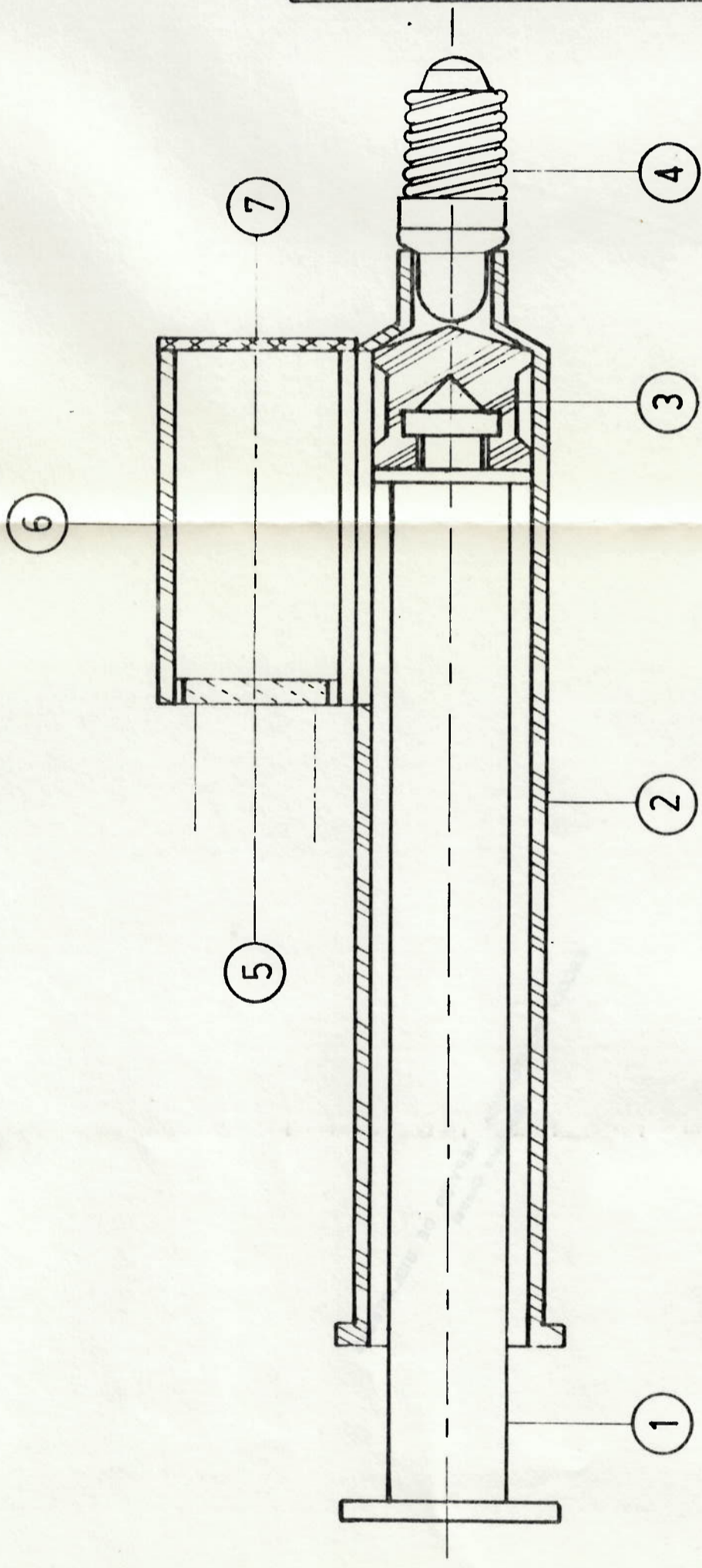


**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

ENCAPSULAMENTO PLÁSTICO	NÃO	NÃO	SIM
ESPESSURA (E) mm	2.0	2.0	6.8
DIÂMETRO (D) mm	12.6	27	29
COMPRIMENTO TERMINAL (F) mm	12	12	9.5
DIÂMETRO TERMINAL (Ø) mm			0.6
PESO - gramas	1.0	2.2	6.5
DISTÂNCIA ENTRE TERMINAIS mm	9.2	22	22



MATERIAL	DESENHADO POR WALTER	DATA  20/12/89	DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE TATO PARA ROBÔ	
ESCALA	TÍTULO DO PROJETO CIRCUITO PARA FOTORESISTOR 1º PROTÓTIPO		DESENHO  1X.7	FOLHA  156

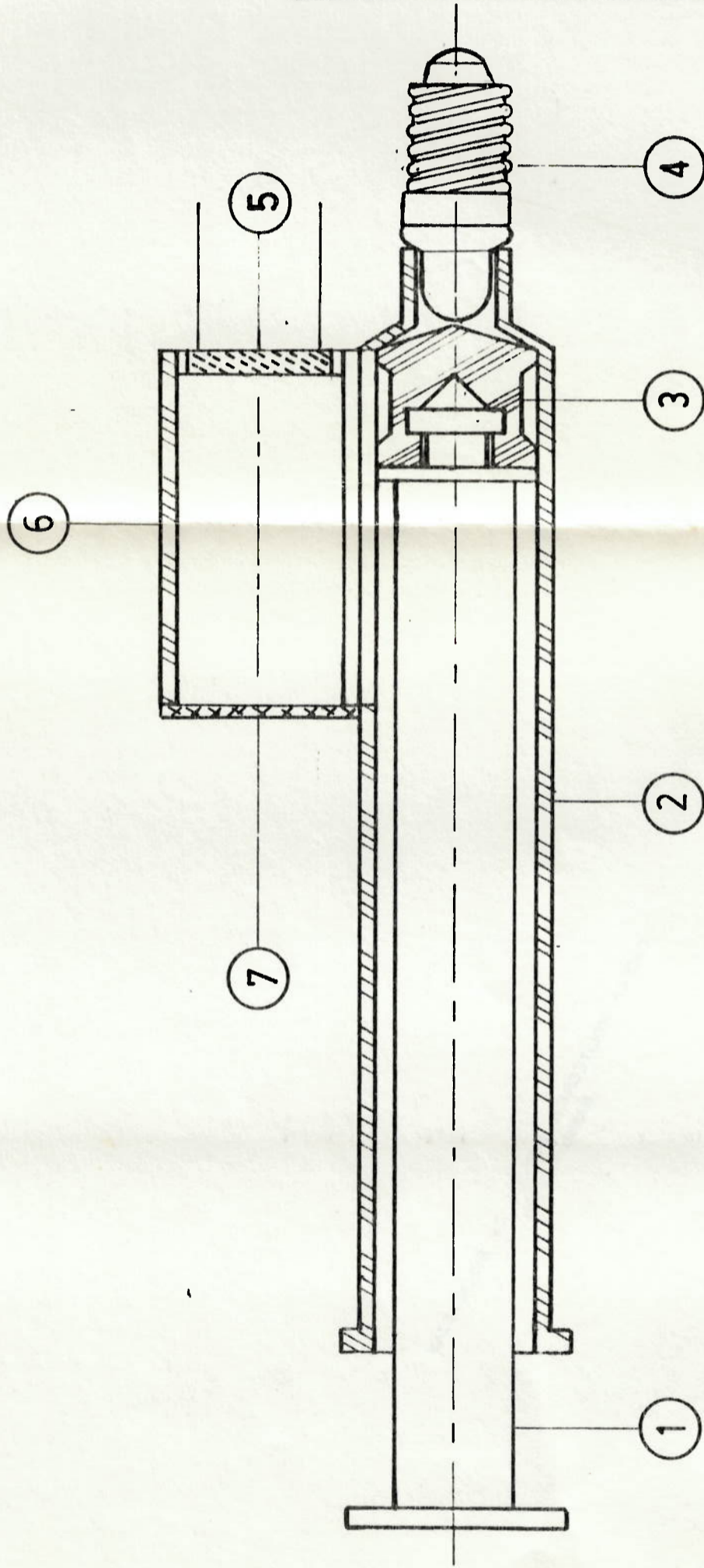


NOTAS: a) AS PEÇAS DEVEM SER UNIDAS COM COLA EPOXI

b) AS SUPERFÍCIES INTERNAS DAS CÂMARAS DA LÂMPADA E DO FOTORESISTOR, DO TAMPÃO E TODA A

SUPERFÍCIE EXTERNA DO SENSOR DEVEM SER PINTADAS EM PRETO FCSCC

7	TAMPÃO	1	DESENHO IX.3
6	CÂMARA DO FOTORESISTOR	1	DESENHO IX.2
5	FOTORESISTOR	1	DESENHO IX.6
4	LÂMPADA	1	DESENHO IX.5
3	ÊMBOLO	1	DESENHO IX.4
2	CÂMARA DA LÂMPADA	1	DESENHO IX.1
1	HASTE SENSORA	1	DESENHO IX.4A
PEÇA	DENOMINAÇÃO	QUANT.	OBSERVAÇÕES
MATERIAL	DESENHADO POR	DATA	DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE TATO PARA ROBÔ
ESCALA	WALTER	15/12/89	DESENHO FOLHA
2:1	TÍTULO DO PROJETO	FOTORESISTOR	IX.8
	1º PROTOTIPO - CONJUNTO		157



NOTAS: a) AS PEÇAS DEVEM SER UNIDAS COM COLA EPOXI

b) AS SUPERFÍCIES INTERNAS DAS CÂMARAS DA LÂMPADA E DO FOTORESISTOR, DO TAMPÃO E TODA A

SUPERFÍCIE EXTERNA DO SENSOR DEVEM SER PINTADAS EM PRETO FOSCO

PEÇA	DENOMINAÇÃO	QUANT.	OBSERVAÇÕES
7	TAMPÃO	1	DESENHO IX.3
6	CÂMARA DO FOTO-RESISTOR	1	DESENHO IX.2
5	FOTORESISTOR	1	DESENHO IX.6
4	LÂMPADA	1	DESENHO IX.5
3	ÊMBOLO	1	DESENHO IX.4
2	CÂMARA DA LÂMPADA	1	DESENHO IX.1
1	HASTE SENSORA	1	DESENHO IX.4A

MATERIAL	DESENHADO POR	DATA	DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE TATO PARA ROBÔ
ESCALA	TÍTULO DO PROJETO	15/12/89	DESENHO FOLHA
2.1	1º PROTOTIPO - CONJUNTO FOTORESISTOR		IX.8A 158



FOTO-ELEMENTOS  
FOTORESISTORES  
FOTODIODOS  
FOTOTRANSISTORES  
CELULAS FOTOVOLTAICAS

## FOTODIODOS "PIN"

Tipo	Light Current* MA	Dark Current	Rise Time	Fall Time	Descrição
NSL-530*	.3	10 nA	3 nS	6 nS	TO-18 Package

\*At 500 F/c (25 MW/cm<sup>2</sup>) 2870°K Source.

## CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

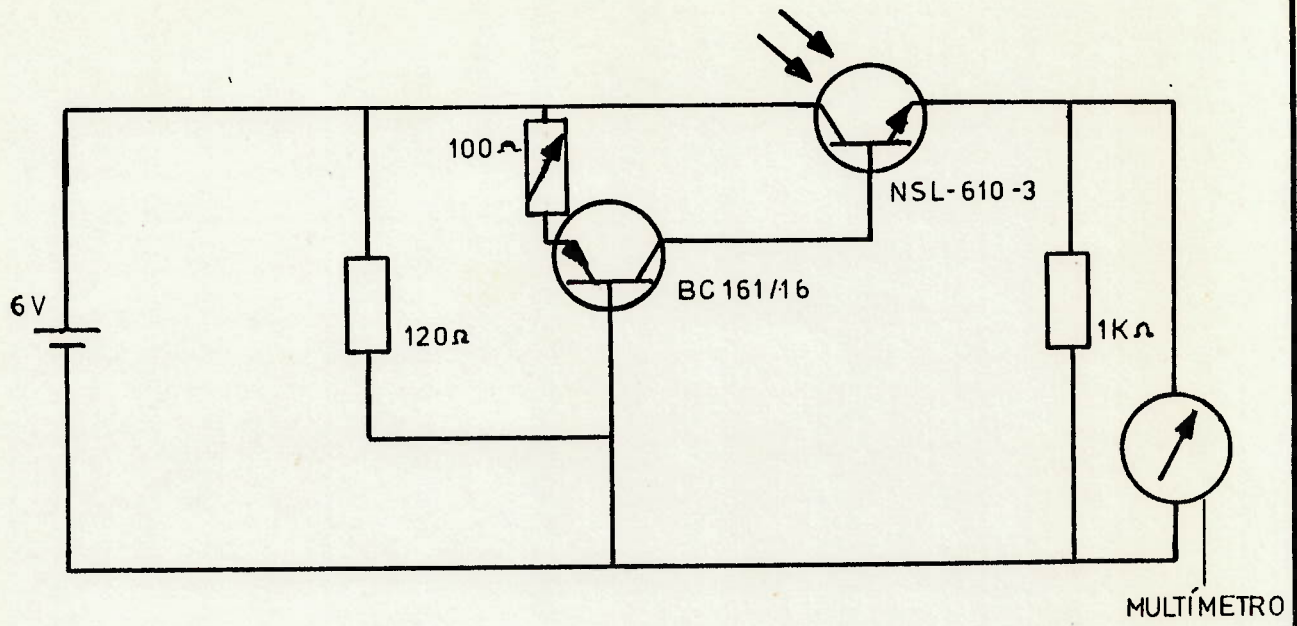
Tipo	Minimum Short Ckt.* Curr. MA	Min. Open Ckt.* Volt.	Dark Curr. µA@1V @55°C	Reverse Voltage Recom. Maximum	Descrição
NSL-701-1*	0.30	0.35	10	5	DIMENSÃO: 2.54 x 5.08 mm - TERMINAIS - FIO
NSL-801-1	0.325	0.275	5	10	
NSL-701-9	0.30	0.35	10	5	ARRANJO C/ 9 ELEMENTOS - ESPAÇAMENTO = 2.54 mm
NSL-702	0.6	0.35	10	5	DIMENSÃO: 5.08 x 5.08 mm - TERMINAIS FIO
NSL-802	0.65	0.275	5	10	
NSL-703*	1.4	0.35	40	5	DIMENSÃO: 5.08 x 10.16 mm - TERMINAIS FIO
NSL-803	1.5	0.275	20	10	
NSL-705	4.5	0.35	50	5	DIMENSÃO: 19.30 x 8.99 mm - TERMINAIS FIO
NSL-805	4.77	0.275	25	10	
NSL-706*	2.9	0.35	40	5	DIMENSÃO: 10.01 x 10.16 mm - TERMINAIS FIO
NSL-806	3.0	0.275	20	10	
NSL-707	3.3	0.35	50	5	DIMENSÃO: 5.08 x 2.54 mm - TERMINAIS FIO
NSL-807	3.5	0.275	25	10	
NSL-708	1.3	0.35	30	5	DIMENSÃO: 2.54 x 2.54 mm - TERMINAIS FIO
NSL-808	1.4	0.275	15	10	
NSL-710*	0.125	0.4	2	5	FORMATO T018
NSL-810	0.150	0.275	1	10	
NSL-751	1.4	0.35	40	5	ENCAPSULAMENTO EPOXI C/DIÂMETRO = 12.7
NSL-851	1.5	0.275	20	10	
NSL-781	0.28	0.35	10	5	ENCAPSULAMENTO T05
NSL-881	0.3	0.275	5	10	
NSL-782	0.42	0.35	10	5	
NSL-791	0.60	0.35	10	5	ENCAPSULAMENTO T08
NSL-792	1.1	0.35	30	5	
NSL-8932	0.65	0.275	5	10	ENCAPSULAMENTO CERÂMICO DIÂMETRO 12.7 mm

\*At 500 F/c (25 MW/cm<sup>2</sup>) 2870°K Source

## FOTOTRANSISTORES

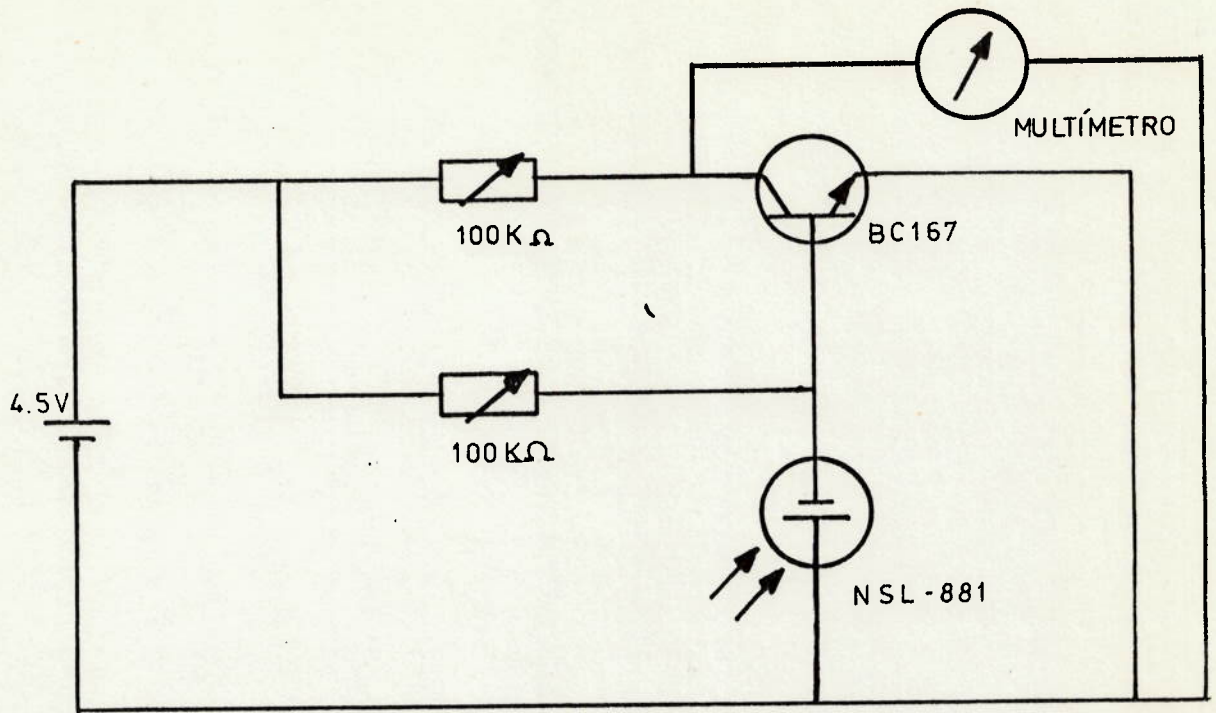
Tipo	ICEO MA @ 5V		MW/cm <sup>2</sup>	Dark I <sub>CEO</sub> 25°C @ 15V nA		Descrição
	Min.	Typ.		Tipo	Max.	
NSL-610-1*	.2	1	10	1	50	T0-18
NSL-610-3	1	3	10	1	50	POT = 200 mW
NSL-610-6	4	6	10	1	50	BVCEO = 30V
NSL-610-9	7	9	10	1	50	
NSL-611	8	15	10	10	100	
NSL-910	1	6	.1	20	250	T0-18, BVCEO 15V

\*TIPOS PREFERENCIAIS

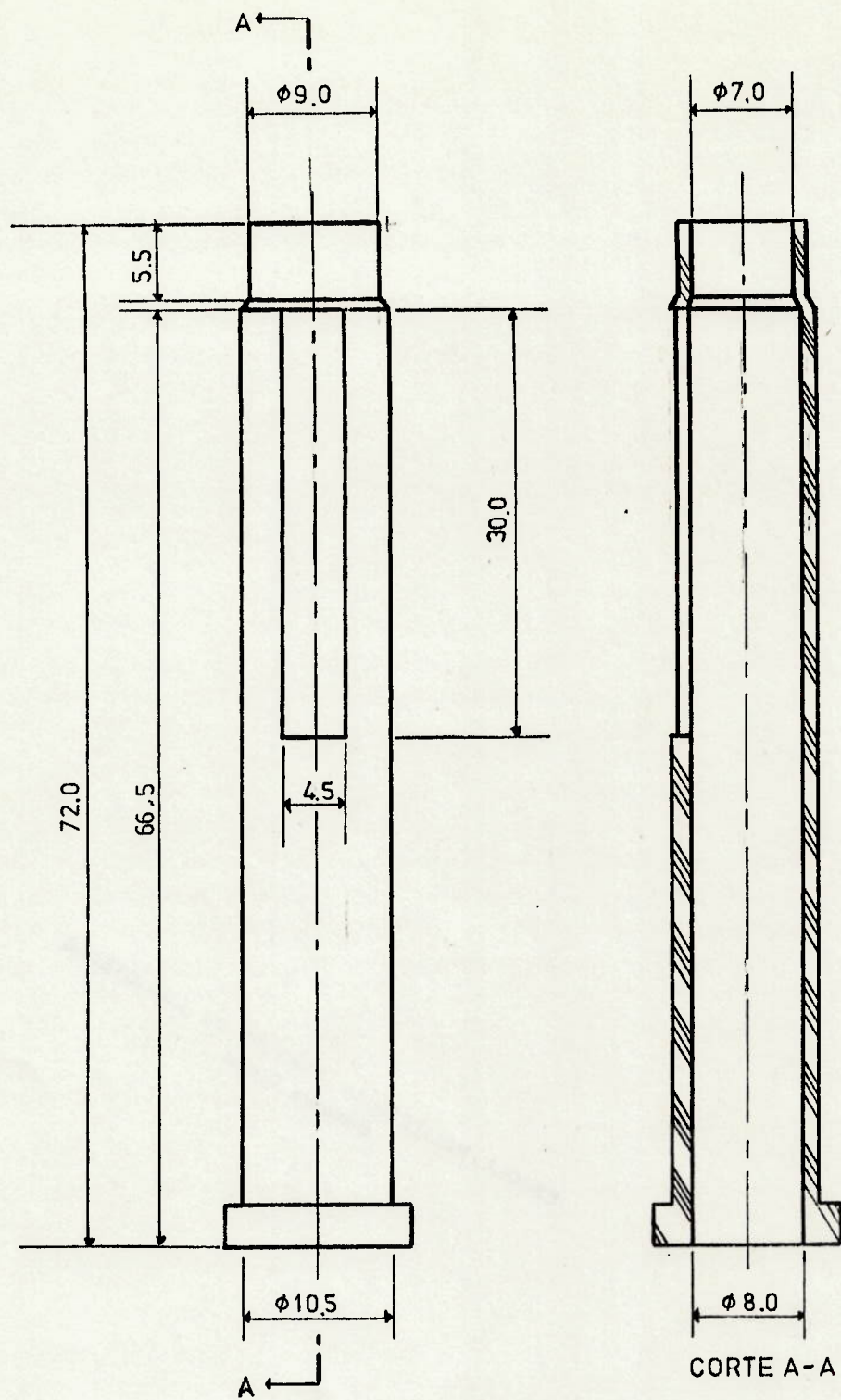


MATERIAL	DESENHADO POR WALTER	DATA 20/12/89	DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE TATO PARA ROBÔ	
ESCALA	TÍTULO DO PROJETO CIRCUITO PARA FOTOTRANSISTOR 2º PROTÓTIPO		DESENHO 1 X 10	FOLHA 160



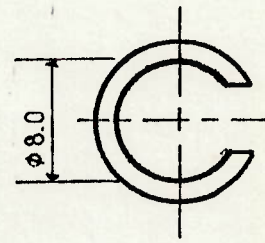
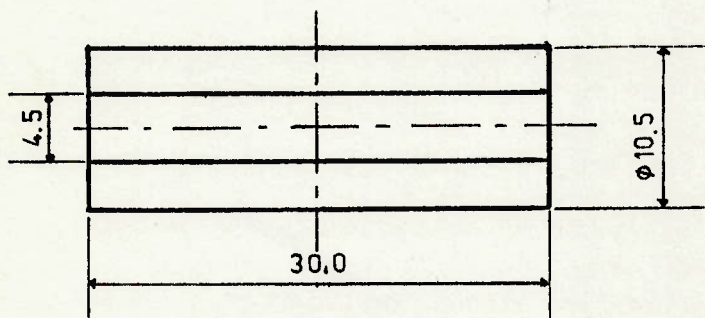


MATERIAL	DESENHADO POR WALTER	DATA 20/12/89	DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE TATO PARA ROBÔ	
ESCALA	TÍTULO DO PROJETO CIRCUITO PARA CÉLULA FOTOVOLTAICA - 2º PROTÓTIPO		DESENHO 1 X.11	FOLHA 161



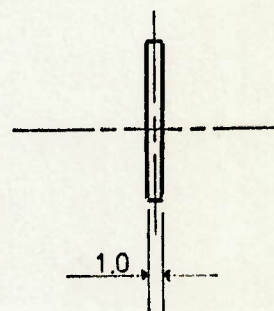
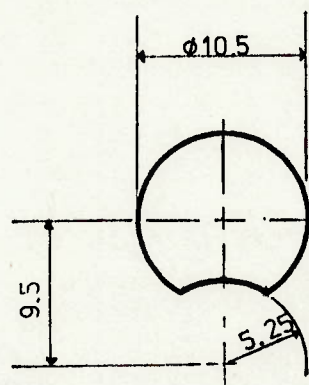
DIMENSÕES EM mm

MATERIAL	DESENHADO POR	DATA	DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE TATO PARA ROBÔ	
PLÁSTICO	WALTER	15/12/89		
ESCALA	TÍTULO DO PROJETO		DESENHO	FOLHA
2:1	CÂMARA DA LÂMPADA		IX.12	162
	2º PROTÓTIPO			



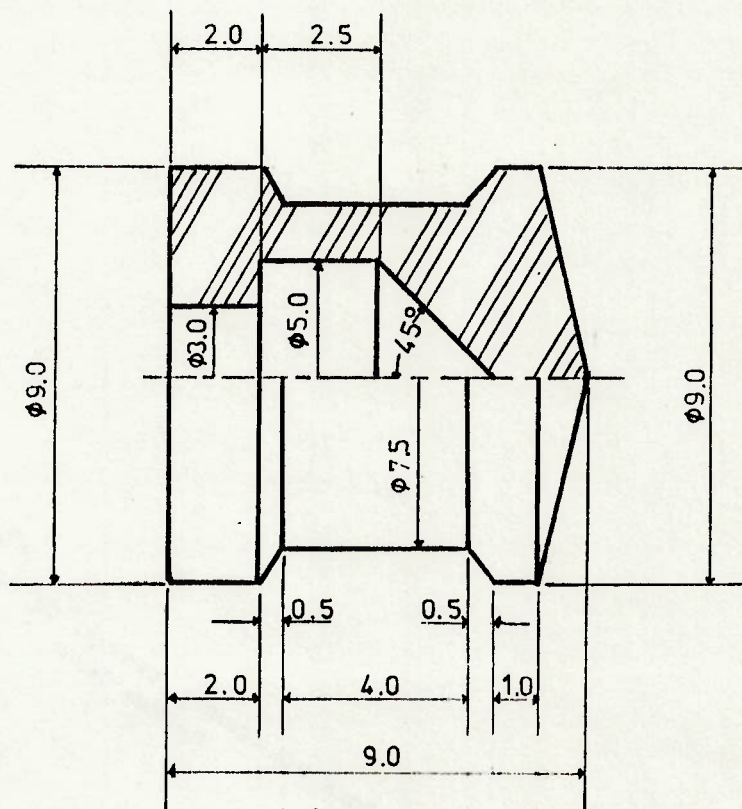
DIMENSÕES EM mm

MATERIAL PLÁSTICO	DESENHADO POR WALTER	DATA 15/12/89	DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE TATO PARA ROBÔ	
ESCALA 2:1	TÍTULO DO PROJETO CÂMARA DA CÉLULA FOTOVOLTAICA 2º PROTÓTIPO		DESENHO 1X.13	FOLHA 163



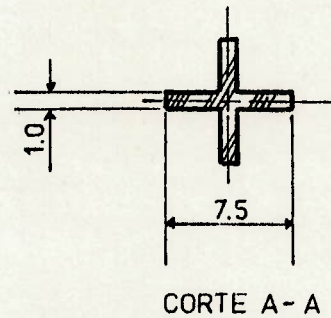
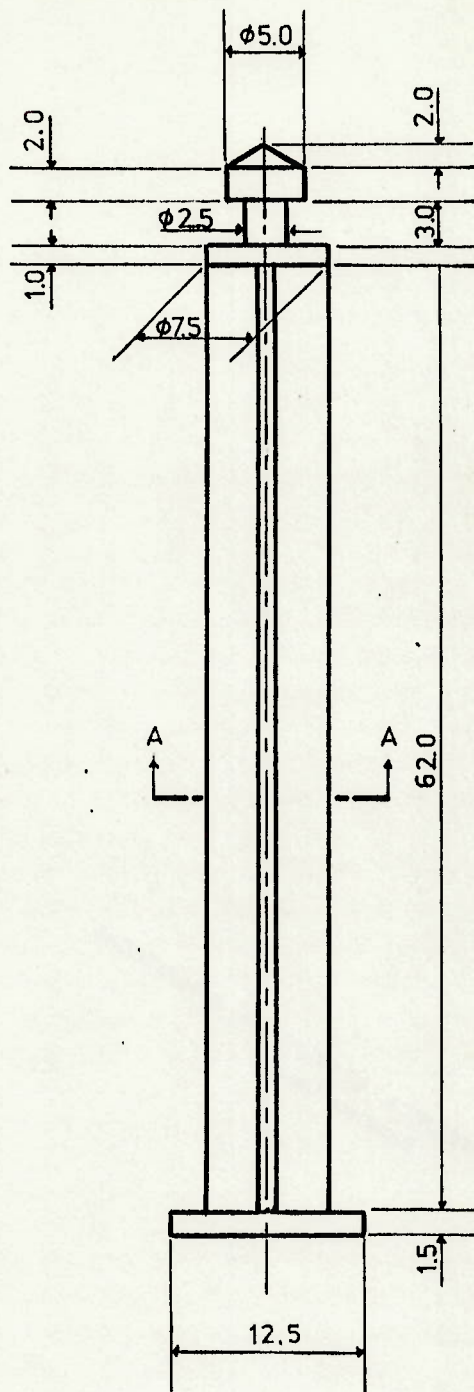
DIMENSÕES EM mm

MATERIAL ALUMÍNIO	DESENHADO POR WALTER	DATA 15/12/89	DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE TATO PARA ROBÔ	
ESCALA 2:1	TÍTULO DO PROJETO TAMPÃO - 2.º PROTÓTIPO		DESENHO IX.14	FOLHA 164



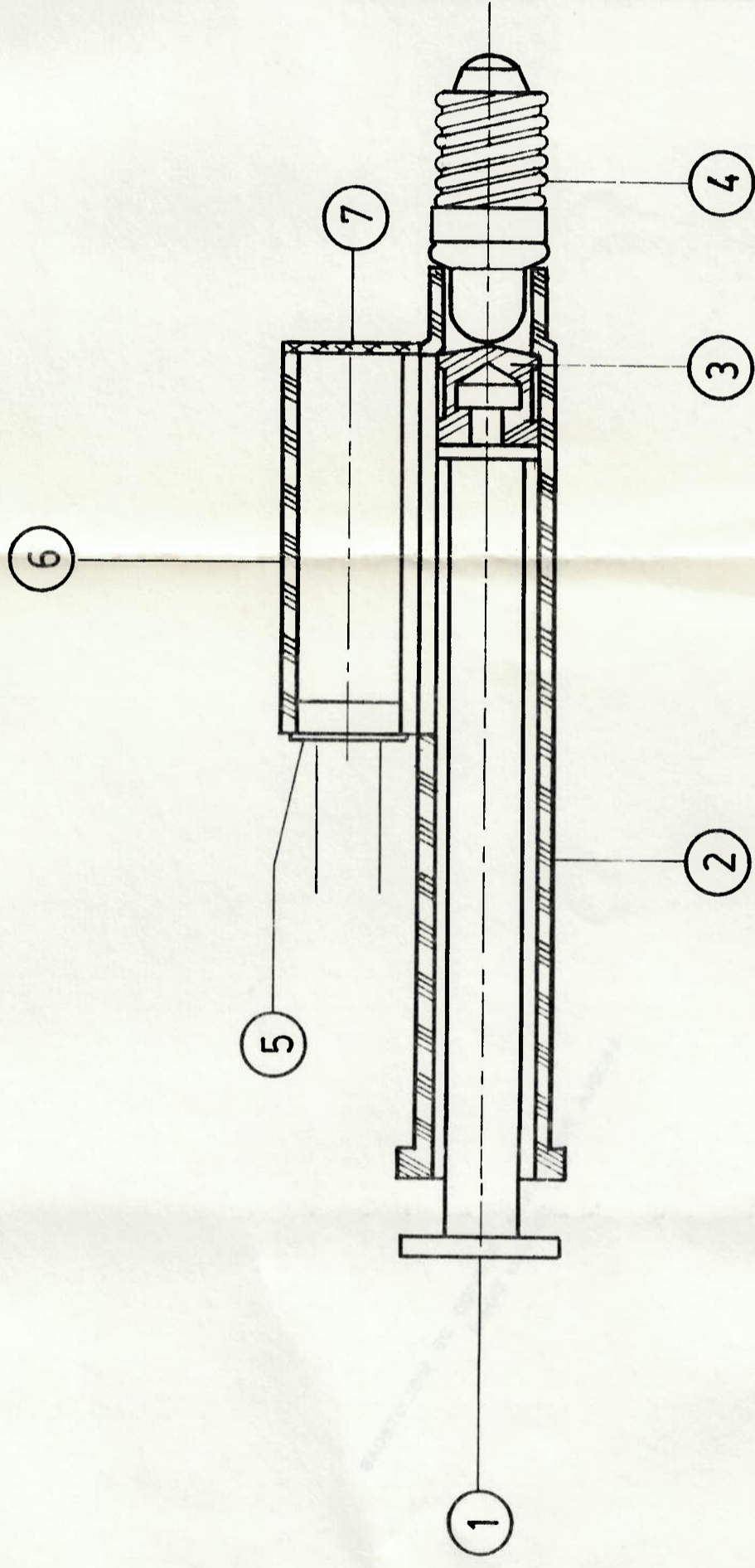
DIMENSÕES EM mm

MATERIAL	DESENHADO POR	DATA	DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE TATO PARA ROBÔ	
BORRACHA	WALTER	15/12/89		
ESCALA	TÍTULO DO PROJETO		DESENHO	FOLHA
6:1	ÊMBOLO-2º PROTÓTIPO		IX.15	165



DIMENSÕES EM mm

MATERIAL PLÁSTICO	DESENHADO POR WALTER	DATA 15/12/89	DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE TATO PARA ROBÔ	
ESCALA 2:1	TÍTULO DO PROJETO HASTE SENSORA - 2º PROTÓTIPO		DESENHO 1 X.15A	FOLHA 166



NOTAS: a) AS PEÇAS DEVEM SER UNIDAS COM COLA EPOXI  
 b) AS SUPERFÍCIES INTERNAS DAS CÂMARAS DA LÂMPADA E DA CÉLULA FOTOVOLTAÍCA, DO TAMPÃO E  
 TODA A SUPERFÍCIE EXTERNA DO SENSOR DEVEM SER PINTADAS EM PRETO FOSCO

7	TAMPÃO	1	DESENHO IX.14
6	CÂMARA DA CÉLULA FOTOVOLTAÍCA	1	DESENHO IX.13
5	CÉLULA FOTOVOLTAÍCA	1	DESENHO IX.9
4	LÂMPADA	1	DESENHO IX.5
3	ÊMBOLO	1	DESENHO IX.15
2	CÂMARA DA LÂMPADA	1	DESENHO IX.12
1	HASTE SENSORA	1	DESENHO IX.15A
PEÇA	DENOMINAÇÃO	QUANT.	OBSERVAÇÕES
MATERIAL	DESENHADO POR WALTER	DATA	DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE TATC PARA ROBÔ
ESCALA	TÍTULO DO PROJETO 2º PROTOTIPO - CONJUNTO CÉLULA FOTOVOLTAÍCA	15/12/89	DESENHO FOLHA IX.16 167

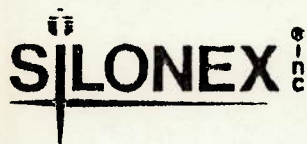


FOTO-ELEMENTOS  
FOTORESISTORES  
FOTODIODOS  
FOTOTRANSISTORES  
CELULAS FOTOVOLTAICAS

## FOTODIODOS "PIN"

Tipo	Light Current* MA	Dark Current	Rise Time	Fall Time	Descrição
NSL-530*	.3	10 nA	3 nS	6 nS	T0-18 Package

\*At 500 Ftc (25 MW/cm<sup>2</sup>) 2870°K Source.

## CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Tipo	Minimum Short Ckt.* Curr. MA	Min. Open Ckt.* Volt.	Dark Curr. µA@1V @55°C	Reverse Voltage Recom. Maximum	Descrição
NSL-701-1*	0.30	0.35	10	5	DIMENSÃO: 2.54 x 5.08 mm - TERMINAIS - FIO
NSL-801-1	0.325	0.275	5	10	
NSL-701-9	0.30	0.35	10	5	ARRANJO C/ 9 ELEMENTOS - ESPAÇAMENTO = 2.54 mm
NSL-702	0.6	0.35	10	5	DIMENSÃO: 5.08 x 5.08 mm - TERMINAIS FIO
NSL-802	0.65	0.275	5	10	
NSL-703*	1.4	0.35	40	5	DIMENSÃO: 5.08 x 10.16 mm - TERMINAIS FIO
NSL-803	1.5	0.275	20	10	
NSL-705	4.5	0.35	50	5	DIMENSÃO: 19.30 x 8.99 mm - TERMINAIS FIO
NSL-805	4.77	0.275	25	10	
NSL-706*	2.9	0.35	40	5	DIMENSÃO: 10.01 x 10.16 mm - TERMINAIS FIO
NSL-806	3.0	0.275	20	10	
NSL-707	3.3	0.35	50	5	DIMENSÃO: 5.08 x 2.54 mm - TERMINAIS FIO
NSL-807	3.5	0.275	25	10	
NSL-708	1.3	0.35	30	5	DIMENSÃO: 2.54 x 2.54 mm - TERMINAIS FIO
NSL-808	1.4	0.275	15	10	
NSL-710*	0.125	0.4	2	5	FORMATO T018
NSL-810	0.150	0.275	1	10	
NSL-751	1.4	0.35	40	5	ENCAPSULAMENTO EPOXI C/DIÂMETRO = 12.7
NSL-851	1.5	0.275	20	10	
NSL-781	0.28	0.35	10	5	ENCAPSULAMENTO T05
NSL-881	0.3	0.275	5	10	
NSL-782	0.42	0.35	10	5	ENCAPSULAMENTO T08
NSL-791	0.60	0.35	10	5	
NSL-792	1.1	0.35	30	5	ENCAPSULAMENTO CERÂMICO DIÂMETRO 12.7 mm
NSL-8932	0.65	0.275	5	10	

\*At 500 Ftc (25 MW/cm<sup>2</sup>) 2870°K Source

## FOTOTRANSISTORES

Tipo	ICEO MA @ 5V		MW/cm <sup>2</sup>	Dark I <sub>CEO</sub> @ 15V 25°C nA		Descrição
	Min.	Typ.		Tipo	Max.	
NSL-610-1*	.2	1	10	1	50	T0-18 POT = 200 mW BV <sub>CEO</sub> = 30V
NSL-610-3	1	3	10	1	50	
NSL-610-6	4	6	10	1	50	
NSL-610-9	7	9	10	1	50	
NSL-611	8	15	10	10	100	
NSL-910	1	6	.1	20	250	T0-18, BV <sub>CEO</sub> 15V

\*TIPOS PREFERENCIAIS



## IX.18 - TABELA TENSÃO X DESLOCAMENTO PARA FOTORESISTOR

## 1ª AVALIAÇÃO

CONDIÇÕES DO TESTE: TENSÃO APLICADA À LÂMPADA: 3,0 V  
TENSÃO APLICADA AO CIRCUITO: 3,0 V

DESLOCAMENTO (mm)	TENSÃO (mV)
0	0,7
1	6,7
2	7,4
3	8,3
4	11,6
5	20,6
6	32,1
7	43,1
8	73,1
9	136,1
10	196,0
11	234,0
12	242,0
13	260,0
14	275,0
15	284,0
16	260,0
17	250,0
18	230,0
19	188,0
20	160,0
21	143,0
22	135,0
23	122,0
24	108,0
25	100,0
26	90,0
27	88,0
28	82,0
29	79,0
30	68,0

IX.19 - TABELA TENSÃO X DESLOCAMENTO PARA FOTORESISTOR  
APÓS TROCA DE POSIÇÃO DO MESMO

CONDIÇÕES DO TESTE: TENSÃO APLICADA À LÂMPADA: 4,08 v  
TENSÃO APLICADA AO CIRCUITO: 4,42 v

DESLOCAMENTO (mm)	MEDIÇÕES			MÉDIA
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	
0	0,2	0,4	0,1	0,2
1	0,9	0,9	0,6	0,8
2	3,5	1,9	2,0	2,5
3	6,0	8,7	4,8	6,5
4	9,4	11,4	8,3	9,7
5	12,5	14,2	12,4	13,0
6	20,3	22,8	18,8	20,6
7	33,5	37,3	30,9	33,9
8	52,7	61,5	57,1	57,1
9	95,6	103,1	96,9	98,5
10	152,6	150,3	139,9	147,6
11	199	214	195,8	202,9
12	239	246	216	233,7
13	281	283	252	272,0
14	302	311	285	299,3
15	308	322	290	306,7
16	315	330	302	315,7
17	323	335	308	322
18	333	336	310	326,3
19	337	344	314	331,7
20	341	348	322	337
21	342	349	326	339
22	347	350	339	345,3
23	350	351	345	348,7
24	348	354	342	348
25	347	350	333	343,3
26	346	352	330	342,7
27	344	349	337	343,3
28	336	348	331	338,3
29	326	351	332	336,3
30	331	342	339	337,3

## IX.20 - TABELA TENSÃO X DESLOCAMENTO PARA CÉLULA FOTOVOLTAICA

CONDIÇÕES DO TESTE: TENSÃO APLICADA À LÂMPADA: 3,96 V  
TENSÃO APLICADA AO CIRCUITO: 4,20 V

DESLOCAMENTO (mm)	MEDIÇÕES			MÉDIA
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	
0	45,6	46,2	45,7	45,8
1	46,0	46,3	46,0	46,1
2	46,2	46,4	46,2	46,3
3	46,3	46,6	46,6	46,5
4	46,6	46,8	46,7	46,7
5	46,7	46,9	46,9	46,8
6	47,0	46,9	47,1	47,0
7	47,1	47,0	47,5	47,2
8	48,0	47,7	48,4	48,0
9	50,0	48,5	49,8	49,4
10	52,0	49,8	52,0	51,3
11	53,5	52,9	53,7	53,4
12	54,7	54,2	55,3	54,7
13	55,9	55,0	56,7	55,9
14	57,0	56,1	57,6	56,9
15	58,2	57,3	58,0	57,8
16	59,1	58,0	59,0	58,7
17	59,5	58,7	59,8	59,3
18	60,0	59,3	60,0	59,8
19	60,6	59,6	60,9	60,4
20	61,4	60,3	61,6	61,1
21	62,4	61,0	63,6	62,3
22	63,5	62,2	64,8	63,5
23	64,8	64,2	65,7	64,9
24	65,1	64,8	65,9	65,3
25	65,0	65,1	65,9	65,3
26	64,9	65,2	65,8	65,3
27	64,8	65,3	65,9	65,3
28	64,8	65,1	65,8	65,2
29	64,8	64,9	65,8	65,2
30	64,8	64,8	65,7	65,1

CAPÍTULO X

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO X  
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1, 2 e 3:

ANGULO, J. M. & AVILÉS, R. Curso de Robótica. Paraninfo S. A., 1984. pp. 14, 18, 23-31.

4:

BEÇAK, W. & PAULETE, J. Técnicas de Citologia e Histologia. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., v. 2, 1976. p. 420.

5:

BRAGA, N.C. Circuito & Informações. Editora Saber Ltda., v.5, 1988. p. 56.

6, 7 e 8:

COIFFET, P. Robot Technology. 1.ed., Kogan Page Ltd., v.1 e 2, 1983. pp. 14-16, 7-12, 81-86.

9:

ERHART, E.A. Neuranatomia. 5.ed. Atheneu Ed. São Paulo S.A., 1974. pp. 1.14

10, 11:

FOELIX, R.F. Biology of Spiders. Harvard University Press, 1981. p. 71 e 73-75.

12 e 13:

FOELIX, R.F. Mechano and Chemoreceptive Sensilla. In: BARTH, F.G. et al. Neurobiology of Arachnids. Springer-Berlag, 1985. pp. 119-120 e 123-125.

14:

GUILLARME, J.J. Educação e Reeducação Psicomotoras. Ed. Artes Médicas Sul Ltda., 1983. pp. 33-41.

15:

HOLLAND, J.M. Basic Robotic Concepts. 1.ed., Howard W. Sams & Co., Inc., 1983. p. 8.

16 e 17:

LÅNDSBERG, G.S. Óptica. Editorial Mir, v. 1, 1983. pp. 9-11, 41.44.

18:

MILL, P.J. Comparative Neurobiology. 1.ed. Ednard Arnold Publishers Limited, 1982. pp. 115-116.

19, 20, 21 e 22:

MIMS, F.M. III. Eletrônica: Iniciação Prática. Mc Graw-Hill, 1988. pp. 47, 66-68, 71-72 e 74-75.

23:

NELSON, T.J. et al. Shear-Sensitive Magneto-resistive Robotic Tactile Sensor. IEE - Trans. on Magnetics. v. MAG-22, nº 5 1986. pp. 394-396.

24:

PERSOLNICK, S.D. Fiber Optics - Technology and Applications. 1.ed., Plenum Press, 1985. pp. 229-230.

25:

REICHARDT, J. Robots: Fact, Fiction + Prediction. London, Thames & Hudson Ltd., 1978. pp. 30-31.

26:

TOWERS, T.D. Tablas Universales Towers para Selección de Transistores. 3.ed., Marcombo Boixareu Ed., 1986. p. 191.

27, 28, 29 e 30:

VICARI CIPELLI, A.M. & SANDRINI, W.J. Teoria e Desenvolvimento de Projetos de Circuitos Eletrônicos. 13.ed., Livros Érica Ed. Ltda., 1982. pp. 151, 155, 214-215, 241-244.