

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

MARCUS VINÍCIUS RIBEIRO DINIZ

Protótipo para Teste de Lentes Solares Polarizadas

São Carlos

2011



MARCUS VINÍCIUS RIBEIRO DINIZ

# PROTÓTIPO PARA TESTE DE LENTES SOLARES POLARIZADAS

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Escola de Engenharia  
de São Carlos, da Universidade  
de São Paulo.

Curso de Engenharia Elétrica  
com ênfase em Eletrônica.

Orientadora:

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Liliane Ventura

São Carlos

2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

D585p	<p>Diniz, Marcus Vinícius Ribeiro. Protótipo para teste de lentes solares polarizadas. / Marcus Vinícius Ribeiro Diniz ; orientador Liliane Ventura -- São Carlos, 2011.</p> <p>Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.</p> <p>1. Polarização. 2. Óculos de sol. 3. Lentes. 4. Opto- mecânica. 5. Opto-eletrônica. 6. Processamento de dados. I. Título.</p>
-------	---

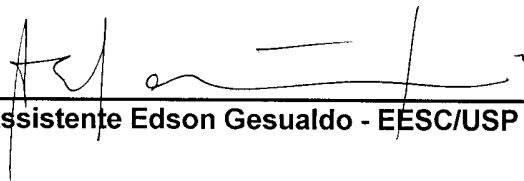
# FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Marcus Vinicius Ribeiro Diniz

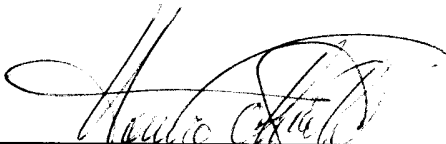
Título: "Protótipo de Teste para Lentes Solares Polarizadas"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado  
em 30 / 11 / 2011,

com NOTA 7,8 (sete , oito), pela comissão julgadora:

  
Prof. Assistente Edson Gesualdo - EESC/USP

  
Dr. Renato Varoto - EESC/USP

  
Prof. Associado Homero Schiabel  
Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica  
EESC/USP



*A Deus, pela graça da vida e saúde todos os meus dias. Aos meus pais, por terem feito de mim tudo que sou e pelos quais tudo faria. A toda minha família, especialmente meus avós, por todas as lições e pelas orações que eu sei que me acompanham e me fortalecem. Aos amigos, especialmente àqueles que nos últimos sete anos estiveram presentes em alguns dos melhores momentos de minha vida em meio ao caos chamado engenharia. E a Caroline, meu incondicional amor e meu ombro amigo nas horas mais difíceis.*





## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Professora Liliane Ventura pela oportunidade de realizar o projeto, a todos os colegas do LIO pela ajuda na confecção deste trabalho e a Bruno e Rui Bertho, sem o quais não conseguiria alcançar os resultados que obtive.



## RESUMO

DINIZ, M. V. R. **Protótipo para Teste de Lentes Solares Polarizadas.** 2011. 58 p. Dissertação (Graduação) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

Este trabalho descreve o projeto e o desenvolvimento de um protótipo para medir o grau de desvio da polarização das lentes de óculos de sol, de acordo com a norma brasileira NBR 15111:2004. O sistema desenvolvido consiste de três partes: opto-mecânica, opto-eletrônica e processamento de dados. Ao variar o ângulo de cruzamento entre os polarizadores (da lente e do sistema), a quantidade de luz que atinge o sensor varia de acordo com a razão entre a passagem total e a passagem parcial da luz, de acordo com a angulação. Assim, é possível avaliar a direção de polarização das lentes. Nesta primeira versão do protótipo, o sistema é rotacionado manualmente, e ainda não mede o desvio de polarização com precisão de  $\pm 1^\circ$  como exigido na norma ABNT, porém indica a viabilidade da construção futura de um equipamento que alcance esta especificação. Este trabalho contribuiu no aprendizado sobre polarização da luz, programação de microcontroladores, interfaceamento com *displays* e utilização de sensores ópticos.

Palavras-chave: Polarização. Óculos de sol. Lentes. Opto-mecânica. Opto-eletrônica. Processamento de dados.



# ABSTRACT

DINIZ, M. V. R. **Prototype for Polarized Sunglasses Lens Test Solares Polarizadas.** 2011. 58 p. Dissertation (Graduation) - Engineering School of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2011.

This work describes the design and development of a prototype to measure the degree of deviation of the polarization of the lenses of sunglasses, according to Brazilian standard NBR 15111:2004. The developed system consists of three parts: opto-mechanical, opto-electronics, and data processing. By varying the crossing angle between the polarizers (lens polarizer and system lens), the amount of light reaching the sensor varies with the ratio between the total and partial passage of light, according to the angle. Thus, it is possible to evaluate the polarization direction of the lens. In this first version of the prototype, the system is manually rotated, and still does not measure the deviation of polarization with a precision of  $\pm 4^\circ$  as required by ABNT, but indicates the availability of building a future device that achieves this specification. This work helped in learning about the polarization of light, microcontroller programming, interfacing with displays and use of optical sensors.

Keywords: Polarization. Sunglasses. Lens. Opto-mechanical, Opto-electronics. Data processing.



# LISTA DE FIGURAS

1.1	Ilustração dos efeitos da polarização [Disponível em: < <a href="http://www.packshot-solution.com/articles/how-handle-glass-photos-and-animations">http://www.packshot-solution.com/articles/how-handle-glass-photos-and-animations</a> > Acesso em: 31 out. 2011]	22
1.2	Polarização linear da luz (Adaptado de HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2007, p. 363)	23
1.3	Polarização linear da luz (Adaptado de HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2007, p. 364)	24
1.4	(a) Par de filtros polaróide com eixos de transmissão em posição paralela (mínima polarização) e; (b) perpendicular (máxima polarização) [Disponível em: < <a href="http://fisica.fe.up.pt/luz/polarizacao.html">http://fisica.fe.up.pt/luz/polarizacao.html</a> > Acesso em: 15 abr. 2011]	25
1.5	Planckian locus (CIE, 1931)	26
1.6	Dispositivo para determinação do plano de polarização (ABNT, 2004)	28
1.7	Equipamentos que realizam manualmente as medições de polarização em óculos de sol	29
2.1	Diagrama de blocos do sistema	31
2.2	Montagem opto-mecânica do sistema	32
2.3	Ilustração da lâmpada Philips Genie (5W) e suas dimensões físicas (em mm) (PHILIPS 2009)	33
2.4	Espectro da lâmpada Philips Genie (5W) [Intensidade luminosa (em unidade arbitrária, apenas para efeito de comparação) X Comprimento de onda em nm]	34
2.5	Fotodiodo OPT101P-J (encapsulamento DIP 8 pinos)	35
2.6	Resposta normalizada do sensor em função do espectro de luz (Sinal de saída normalizado X Comprimento de onda em nm) (TI, 2003)	35
2.7	Esquema de amplificação com componentes externos ao fotodiodo (TI, 2003)	36
2.8	Diagrama de blocos básico de um microcontrolador	38
2.9	(a) Foto ilustrativa e; (b) pinagem do microcontrolador PIC18F4550	38
2.10	Esquema geral de ligação do display de LCD	40
2.11	Montagem opto-eletrônica do sistema	41
3.1	Protótipo em sua montagem final	43
3.2	Flutuação do sistema (no escuro) medida no osciloscópio	44
3.3	Exemplo de medição feita exibida na tela display, controlado pelo microcontrolador. Também na figura, os componentes de alerta (alto-falante e LED's)	45





## LISTA DE TABELAS

2.1	Exemplos de ganhos obtidos na saída do fotodiodo utilizando resistor e capacitor externos . . . . .	37
3.1	Resultados obtidos nos testes de repetibilidade (15 repetições) . . . . .	45



## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A/D	Analógico para Digital
LCD	<i>Liquid Cristal Display</i> (Tela de Cristal Líquido)
LED	<i>Light-emitting Diode</i> (Diodo Emissor de Luz)
LIO	Laboratório de Instrumentação Oftálmica (EESC/USP)
PIC	<i>Peripheral Interface Controller</i> (Controlador de Interface e Periféricos)
UV	Ultravioleta



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>21</b>
1.1	Polarização da Luz . . . . .	21
1.1.1	A Física da Polarização . . . . .	22
1.1.2	Polarização por Absorção . . . . .	23
1.1.3	Lei de Malus . . . . .	23
1.1.4	Filtros Polarizadores . . . . .	24
1.2	Iluminação . . . . .	25
1.2.1	Temperatura de Cor . . . . .	25
1.3	Norma ABNT NBR 15111:2004 . . . . .	26
1.3.1	Filtros Polarizadores . . . . .	26
1.3.2	Filtros de Proteção Solar Polarizadores . . . . .	27
1.3.3	Aparelhagem . . . . .	27
1.3.4	Procedimento . . . . .	28
1.4	Objetivo do Projeto . . . . .	29
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>31</b>
2.1	Opto-mecânica . . . . .	31
2.2	Opto-eletrônica . . . . .	32
2.2.1	Iluminação do Sistema . . . . .	33
2.2.2	Sensor Óptico . . . . .	34
2.2.3	Microcontrolador . . . . .	37
2.2.4	<i>Display</i> . . . . .	39
2.3	Processamento de Dados . . . . .	41
2.3.1	Amostragem e Taxa de Atualização do <i>Display</i> . . . . .	42
<b>3</b>	<b>RESULTADOS EXPERIMENTAIS</b>	<b>43</b>
3.1	Erro de Flutuação . . . . .	43
3.2	Repetibilidade . . . . .	44
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO E CONCLUSÃO</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>CONTINUAÇÃO DO PROJETO</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>51</b>



# 1 INTRODUÇÃO

É sabido que óculos de sol são muito importantes na proteção do olho humano contra os efeitos nocivos da radiação ultravioleta (UV) dos raios solares. Segundo estudos da Organização Mundial de Saúde (LUCAS et al., 2006), uma série de doenças oculares podem ser provocadas pela exposição desprotegida aos raios ultravioleta da luz do sol, como queratite, catarata e carcinoma (um tipo de câncer), por exemplo.

Óculos que não estejam dentro do padrão de qualidade e especificações exigidas pelas leis e normas regulamentares do setor podem causar danos ainda maiores à saúde, além de constituir em infração dessas leis.

Por isso, é necessário realizar uma série de medições que certifiquem que os óculos de sol que estão sendo oferecidos ao mercado consumidor atendem a todas as especificações requisitadas. Uma das medições a ser realizada é a de verificação da polarização das lentes dos óculos de sol com polarizadores.

O desenvolvimento deste projeto faz parte de um projeto maior, que está sendo desenvolvido no Laboratório de Instrumentação Oftálmica (LIO - EESC/USP) visando realizar alguns testes em óculos de sol exigidos pela norma ABNT NBR 15111:2004.

## 1.1 Polarização da Luz

A polarização é uma propriedade das ondas eletromagnéticas, como a luz.

Amplamente utilizada na tecnologia, uma das aplicações mais comuns da polarização é em lentes de óculos de sol. As principais consequências do efeito de lentes polarizadas são (SHURCLIFF, 1962):

- Eliminar a reflexão da luz solar em superfícies;
- Melhorar o contraste das imagens;
- Reduzir o brilho de imagens como, por exemplo, céu e nuvens.

A Figura 1.1 ilustra estes benefícios em lentes polarizadas de óculos de sol:



*Figura 1.1: Ilustração dos efeitos da polarização [Disponível em: <<http://www.packshot-solution.com/articles/how-handle-glass-photos-and-animations>> Acesso em: 31 out. 2011]*

Por estas razões, a verificação da polarização em óculos de sol é importante. Comprovar a correta aplicação dos filtros polarizadores em lentes de óculos de sol garante o bom uso dos mesmos e certifica a correta fabricação destes, evitando assim problemas que podem afetar a visão devido à exposição indevida dos olhos aos raios de sol.

### 1.1.1 A Física da Polarização

As ondas eletromagnéticas no espaço livre são ondas transversais, as vibrações ocorrem em um plano perpendicular à direção de propagação da onda. Quando a vibração se mantém sempre na mesma direção, dizemos que a onda é linearmente polarizada (TIPLER, 2000).

Quando uma onda possui somente uma componente, por exemplo o componente  $y$ , dizemos que ela é linearmente polarizada ao longo da direção  $y$ ; quando uma onda possui, por exemplo, somente o componente  $z$ , dizemos que ela é linearmente polarizada ao longo da direção  $z$  (YOUNG; FREEDMAN, 2004).

A Figura 1.2 ilustra a polarização linear da luz em um determinado eixo:



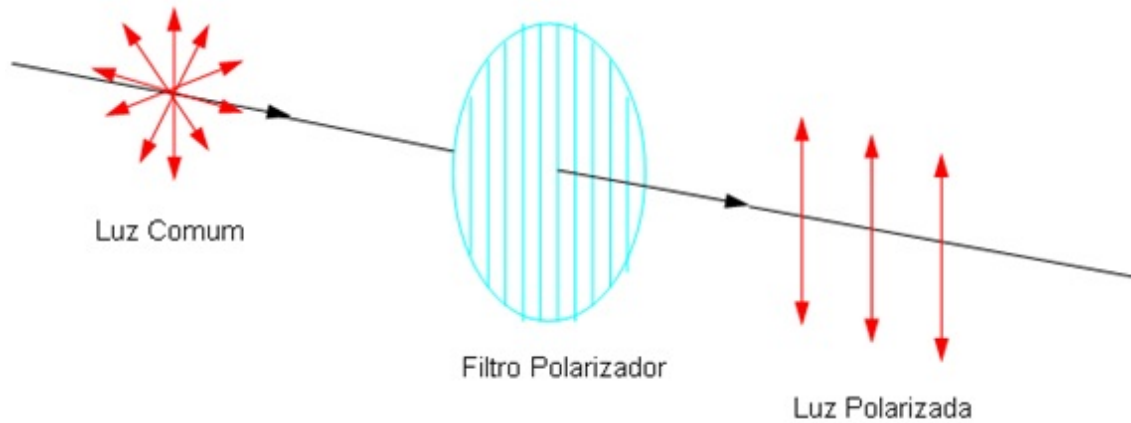


Figura 1.2: Polarização linear da luz (Adaptado de HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2007, p. 363)

### 1.1.2 Polarização por Absorção

A polarização pode ocorrer de algumas formas. Uma delas é a polarização por absorção, através de cristais naturais que, quando cortados na forma apropriada, absorvem e transmitem mais ou menos luz, dependendo da polarização. Esses cristais podem ser usados para produzir luz linearmente polarizada. De forma artificial, a maneira mais utilizada é através de películas polarizadoras. Em 1938, E. H. Land inventou a mais famosa destas películas, que recebeu o nome comercial de *Polaroid*. O material usado para fazer uma película de *Polaroid* contém longas cadeias de hidrocarbonetos que se alinham quando a película é esticada durante o processo de fabricação. Essas cadeias se tornam condutoras quando o material é imerso em uma solução que contém iodo. Quando a luz incide na película com o vetor campo elétrico paralelo às cadeias, correntes elétricas são induzidas nas cadeias e a energia luminosa é absorvida. Quando a luz incide na película com o campo elétrico perpendicular às cadeias, a absorção é muito menos e quase toda a luz é transmitida. A direção perpendicular às cadeias é denominada eixo de transmissão (TIPLER, 2000).

### 1.1.3 Lei de Malus

Suponha que um feixe de luz tenha que atravessar uma segunda película com o eixo de transmissão fazendo um ângulo  $\Theta$  com a primeira. Se  $\vec{E}$  for o campo elétrico entre as duas películas, a componente do campo elétrico na direção do eixo de transmissão do segundo filme será dada por  $\vec{E}\cos\Theta$ . Como a intensidade da luz é proporcional a  $E^2$ , a intensidade da luz transmitida pelas duas películas será dada por (1.1):

$$I = I_0 \cos^2 \Theta \quad (1.1)$$

Onde  $I_0$  é a intensidade da luz que incide na segunda película, que, por sua vez, é igual à metade da intensidade da luz que incide na primeira película. Quando um feixe de luz passa por dois elementos polarizadores em sucessão, o primeiro é chamado de polarizador, e o segundo de analisador. Quando o polarizador e o analisador estão cruzados, isto é, quando seus eixos de transmissão são mutuamente perpendiculares, nenhuma luz é transmitida, conforme ilustra a Figura 1.3. A equação (1.1) é conhecida como Lei de Malus, em homenagem ao seu descobridor, E. L. Malus (1755-1812). Ela se aplica a qualquer par de elementos polarizadores cujos eixos de transmissão façam um ângulo  $\Theta$  (TIPLER, 2000).

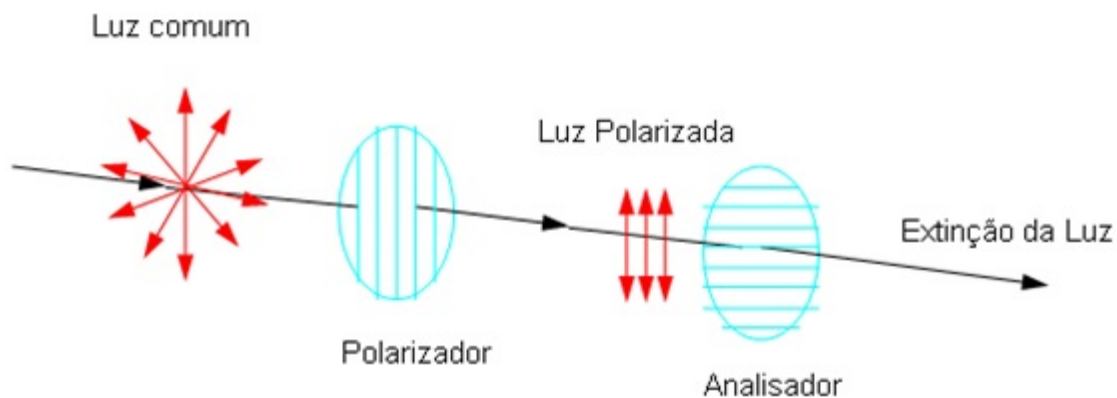


Figura 1.3: Polarização linear da luz (Adaptado de HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2007, p. 364)

#### 1.1.4 Filtros Polarizadores

As fontes comuns de luz, tal qual uma lâmpada incandescente ou fluorescente, emitem luz que não é polarizada. Qualquer fonte de luz contém um número extremamente grande de moléculas com orientações caóticas, de modo que a luz emitida inclui ondas polarizadas aleatoriamente em todas as direções transversais possíveis. Essa luz é chamada de luz natural ou luz não polarizada. Para produzir um feixe de luz polarizada a partir de um feixe de luz natural é necessário construir um filtro polarizador (YOUNG; FREEDMAN, 2004).

Um filtro polarizador é aquele que deixa passar somente as componentes de onda em um determinado eixo de polarização. Um filtro polarizador ideal deixa passar 100% da luz que é polarizada na mesma direção do eixo de polarização e bloqueia completamente a luz polarizada na direção perpendicular a esse eixo. Tal dispositivo é uma idealização inatingível. No caso da luz visível, o filtro polarizador mais comum é o polaróide, película polarizadora cujo advento foi descrito no item 1.1.2. Esse material apresenta uma propriedade chamada dicroísmo, uma absorção seletiva na qual um dos componentes da onda é absorvido muito mais acentuadamente do que o outro. Um filtro polaróide transmite mais de 80% a intensidade de luz polarizada em uma direção paralela ao eixo do material,

porém transmite menos de 1% quando a luz é polarizada em um eixo perpendicular a esse eixo (YOUNG; FREEDMAN, 2004).

A Figura 1.4 mostra um par de filtros polarizadores, do tipo polaróide, sobrepostos, nos casos em que os eixos de transmissão estão em posição paralela e perpendicular, respectivamente.



Figura 1.4: (a) Par de filtros polaróide com eixos de transmissão em posição paralela (mínima polarização) e; (b) perpendicular (máxima polarização) [Disponível em: <<http://fisica.fe.up.pt/luz/polarizacao.html>> Acesso em: 15 abr. 2011]

## 1.2 Iluminação

A iluminação é parte fundamental de um sistema óptico. Uma fonte de luz adequada às especificações do projeto é essencial para que as medições sejam precisas e confiáveis.

O teste de polarização em lentes de óculos de sol é baseado no quanto de luminosidade os filtros polarizadores deixam ou não passar. Assim, uma fonte de luz adequada torna-se essencial para que a luminosidade que chega até o sensor esteja correta e obtenha-se assim, valores de medição corretos.

### 1.2.1 Temperatura de Cor

Temperatura de cor é uma característica da luz visível. Basicamente, consiste na cor (matiz) que um corpo negro ideal irradia quando aquecido desde o zero absoluto até as mais altas temperaturas. A temperatura de cor é medida na unidade de temperatura absoluta, o Kelvin (K). Assim, as cores emitidas pelas fontes de luz são comparadas a esta escala, e define-se a temperatura de cor daquela fonte (STEVENSON, 1951).

A Figura 1.5 ilustra o *Planckian locus* (ou *black body locus*), um diagrama que representa as cores que um corpo negro ideal irradiaria caso fosse aquecido a diferentes temperaturas. Os eixos x, y e z (este último não está explicitado na figura, ilustrada em duas dimensões) representam o vermelho, verde e azul, em escalas normalizadas (o CIE Planckian Locus é baseado no sistema RGB). Nas bordas da figura há a escala de comprimento de onda, em nm, e na parte interior da figura está a escala de temperatura de cor em Kelvin (K).

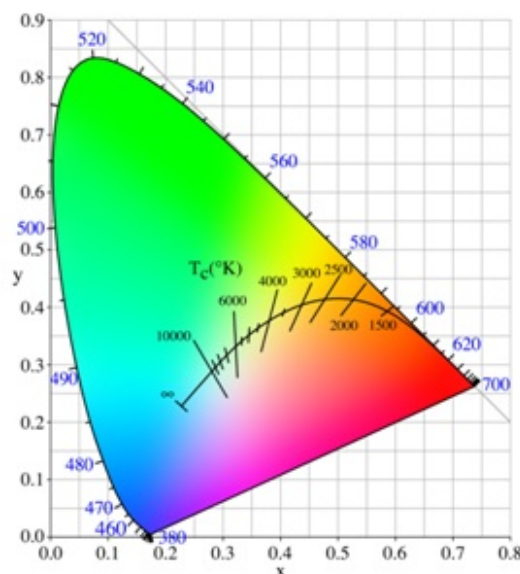


Figura 1.5: Planckian locus (CIE, 1931)

Dentro das normas especificadas, um dos quesitos a serem atendidos é que a fonte de luz utilizada no sistema de medição da polarização em lentes de óculos de sol deve emitir luz com uma temperatura de cor igual a 6500K.

Isso se deve ao fato de que a luz natural do dia é correlacionada com a temperatura de 6500K (faixa de luz branca). Desta forma, a fonte de luz do sistema tem que atender a esta especificação.

### 1.3 Norma ABNT NBR 15111:2004

A Norma brasileira ABNT NBR 15111:2004 estabelece uma série de especificações que devem ser cumpridas na fabricação de óculos de sol. Está em vigor desde 30/06/2004.

Esta é a norma que estabelece as características físicas (mecânicas, ópticas, etc.) para óculos de sol e filtros de proteção solar com potência nominal nula, que não sejam lentes para óculos corretivos, mas previstos para uso geral na proteção contra radiações solares e também para uso social e doméstico, inclusive no trânsito.

A partir desta norma foi criado o Projeto de Lei N° 5534, que obriga os fabricantes a seguirem o que está estabelecido na norma. Aprovado, entrou em vigor em 01/03/2007 (SENADO FEDERAL, 2007). Os itens a seguir trazem trechos da norma ABNT NBR 15111:2004, trechos estes que tratam especificamente da parte que se refere à normatização dos óculos de sol que possuem lentes com filtros polarizadores.

#### 1.3.1 Filtros Polarizadores

Se os óculos de proteção solar forem equipados com filtros polarizadores, estes polarizadores devem ser dispostos numa configuração tal que o plano de polarização não se desvie

mais que  $\pm 5^\circ$  da horizontal.

Os eixos dos planos de polarização dos filtros esquerdo e direito não devem apresentar um desvio mútuo maior que  $6^\circ$ .

No caso de filtros de proteção solar em bruto (sem cortar), é preciso marcar o plano de polarização.

Um filtro de proteção solar serve de polarizador quando a relação entre a transmitância paralela e a transmitância perpendicular do plano de polarização, para os filtros das categorias 2, 3 e 4, for maior do que 8:1 e, no caso dos filtros da categoria 1, for maior do que 4:1 (ABNT, 2004).

### **1.3.2 Filtros de Proteção Solar Polarizadores**

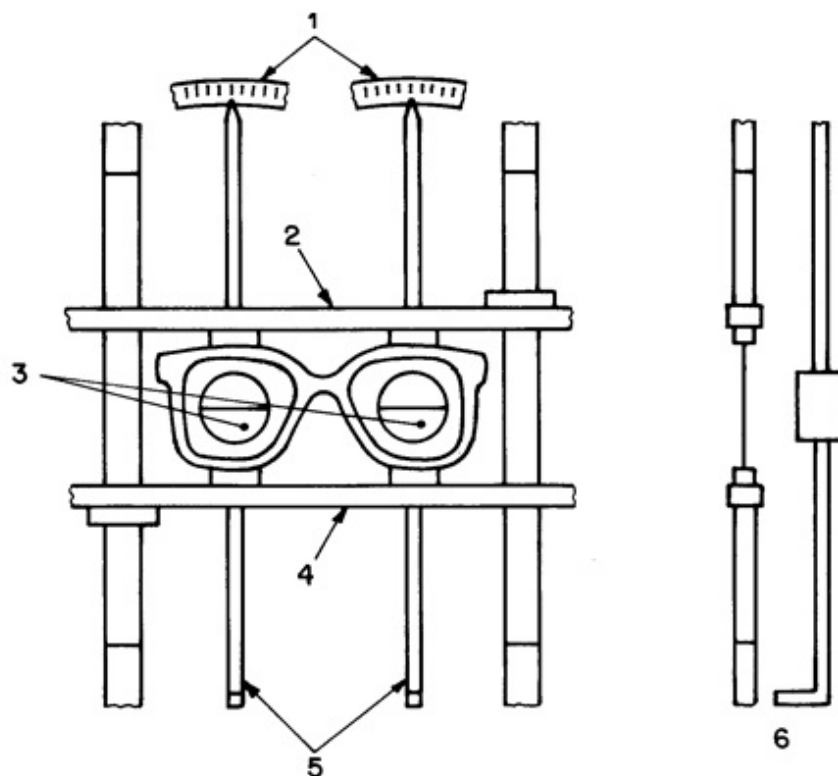
A transmitância dos filtros de proteção solar polarizadores deve ser determinada com luz não polarizada ou ser calculada como valor médio das transmitâncias, que por sua vez devem ser determinadas para dois planos de polarização do filtro, perpendiculares entre si.

A relação das transmitâncias da luz paralela e da luz perpendicular ao plano de polarização é determinada com radiação polarizada paralela e perpendicularmente ao plano de polarização.

Para determinar o plano de polarização utiliza-se um polarizador com plano de polarização conhecido, que é colocado no trajeto da radiação (ABNT, 2004).

### **1.3.3 Aparelhagem**

Consiste em um par de polarizadores montados individualmente, com campos de visão separados e cortados de modo a formar um ângulo de  $+ 3^\circ$  a  $- 3^\circ$  com a horizontal. A metade superior e a metade inferior dos polarizadores ficam encostadas uma na outra e são montadas sobre o vidro. Os polarizadores devem poder ser girados com uma alavanca ligada a um ponteiro. O ponteiro fica superposto a uma escala calibrada em graus, à esquerda e à direita do zero. O campo de visão dividido é iluminado por trás, por uma fonte de luz difusa, conforme a Figura 1.6 (ABNT, 2004).



*Figura 1.6: Dispositivo para determinação do plano de polarização (ABNT, 2004)*

Legenda:

- 1. Escalas;
- 2. Parte superior do dispositivo;
- 3. Polarizadores com campo de visão dividido;
- 4. Parte inferior do dispositivo;
- 5. Alavancas de ajuste dos polarizadores;
- 6. Vista lateral.

#### 1.3.4 Procedimento

Cada óculos de sol é montado como se fosse ser usado por uma pessoa, ou seja, com a parte frontal dirigida para os campos de visão divididos sobre uma régua horizontal e montados na aparelhagem; é preciso garantir que o campo de visão dividido apareça no meio da lente, utilizando para isso as possibilidades de ajuste vertical.

Para a lente esquerda, a alavanca deve ser deslocada até que a metade superior e a metade inferior do campo iluminado apareçam com a mesma claridade, quando observadas através da lente.

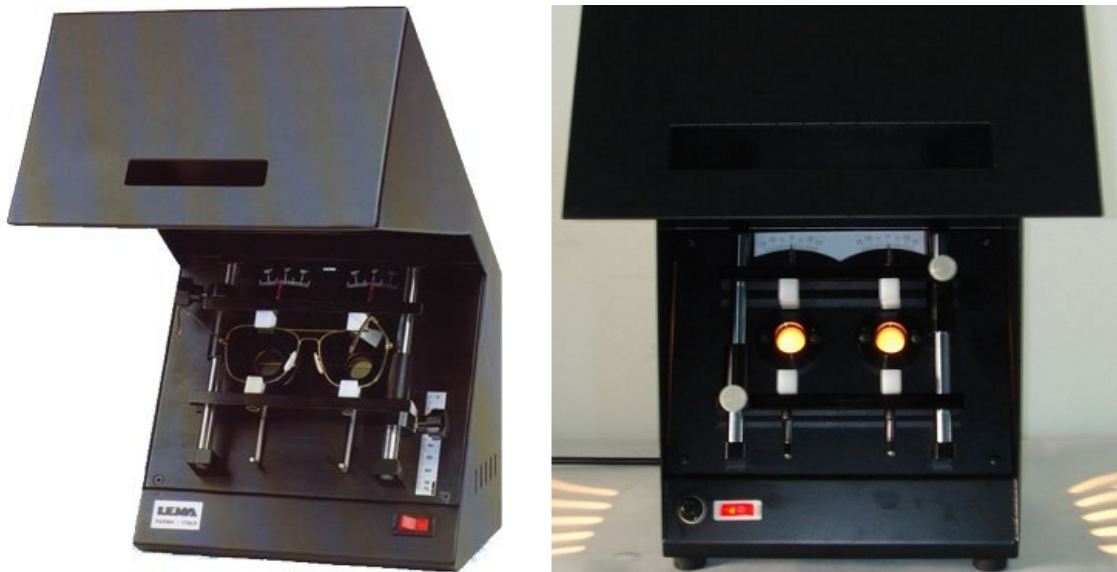
A leitura da posição do ponteiro dá o desvio do plano de polarização da lente em relação à vertical, em graus ( + ou - ). Repetir o processo para a lente da direita (ABNT, 2004).

## 1.4 Objetivo do Projeto

O objetivo deste projeto foi desenvolver um protótipo para medir automaticamente a polarização para lentes de óculos de sol, seguindo o padrão estabelecido pela norma brasileira ABNT NBR 15111:2004.

O sistema aqui proposto consiste em uma montagem com partes opto-mecânicas e opto-eletrônicas programadas para exibir ao usuário os pontos de maior e menor transmissão de luz através da lente polarizada de seus óculos.

O caráter inovador deste trabalho consiste em fazer as medições de maneira automatizada, visto que durante as pesquisas foram encontrados apenas dois aparelhos (um italiano e um americano) que fazem as medições de maneira manual, isto é, o usuário define, a olho nu, quais são os pontos de máxima e mínima polarizações. A Figura 1.7 mostra estes aparelhos:



*Figura 1.7: Equipamentos que realizam manualmente as medições de polarização em óculos de sol*





## 2 METODOLOGIA

O sistema foi montado seguindo as normas da ABNT NBR 15111:2004 descritas anteriormente. Ele está dividido em três partes: opto-mecânica, opto-eletrônica e processamento de dados. O esquema da Figura 2.1 ilustra o diagrama de blocos geral do sistema:

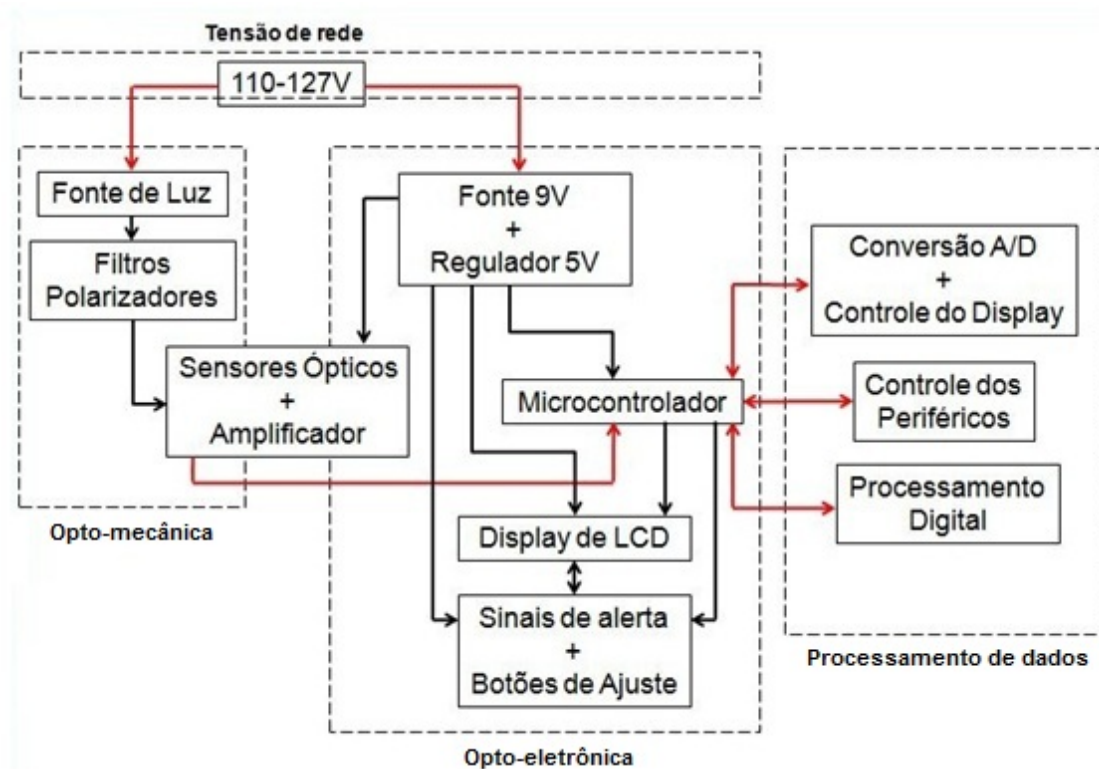


Figura 2.1: Diagrama de blocos do sistema

A fonte de luz ilumina os polarizadores, ficando o campo de visão dividido metade superior com o polarizador e a metade inferior sem, para que possa ser feita uma comparação a olho nu. Esta situação foi ilustrada no item 3 da Figura 1.6, conforme descrição da ABNT.

A parte opto-mecânica consiste na montagem da iluminação e dos polarizadores. O circuito eletrônico capta, converte e transmite os sinais. A programação do sistema trata de interpretar estes sinais e os exibi-los como informações adequadas no *display*, além de enviar sinais de alerta, fazendo assim a interface entre o sistema e o usuário.

### 2.1 Opto-mecânica

A primeira parte do sistema é a parte opto-mecânica, que contém as montagens óptica e mecânica do sistema.

A montagem óptica é constituída pela fonte de luz, que ilumina dois polarizadores colocados em paralelo, de forma que um deles fique livre para que possam ser girado, com o intuito de variar a intensidade da iluminação conforme o plano de polarização.

Na extremidade oposta às lâmpadas estão posicionados os sensores de intensidade de luz, que captam a luminosidade e a transformam em um sinal elétrico. Os sensores são o início do sistema opto-eletrônico.

Quando a lente do óculos a ser testado forem inseridas no sistema, no lugar do polarizador fixo, o polarizador móvel deverá ser girado para variar entre a máxima e a mínima intensidades de luz captadas pelos sensores. Desta forma, marca-se o ângulo de polarização das lentes.

A Figura 2.2 mostra a montagem opto-mecânica do sistema:



*Figura 2.2: Montagem opto-mecânica do sistema*

A situação descrita no item 1.1.3, em que dois polarizadores estão colocados em sucessão e com eixos de transmissão fazendo um ângulo  $\Theta$  (na montagem,  $\Theta$  varia desde os eixos em paralelo até os eixos estarem mutuamente perpendiculares, sendo esta última situação a descrita no item 1.1.3), é exatamente o que acontece no sistema construído, considerando os dois filtros polarizadores.

O polarizador móvel gira livremente, de modo a serem encontrados os pontos de máxima e mínima polarizações. O sistema desenvolvido faz uso de polarizadores do tipo polaróide, descritos nos itens 1.1.2 e 1.1.4.

## **2.2 Opto-eletrônica**

As principais partes do sistema opto-eletrônico são: iluminação, sensor óptico, micro-controlador e *display*.

Para a alimentação do sistema, foi utilizada uma fonte comercial com a saída a 12V, 500mA em corrente contínua. Não foram calculadas as máximas tensões e correntes suportadas pelo circuito, mas foram testadas as tensões de 9 e 12V, com correntes entre 300 e 500mA, e o sistema funcionou sem acusar nenhum tipo de problema. Recomendam-se

estas tensões e correntes pela facilidade de se encontrar fontes de alimentação comerciais nestas especificações. O uso de baterias também pode ser uma opção, que tem como vantagem eliminar as flutuações que podem ser causadas pela rede elétrica.

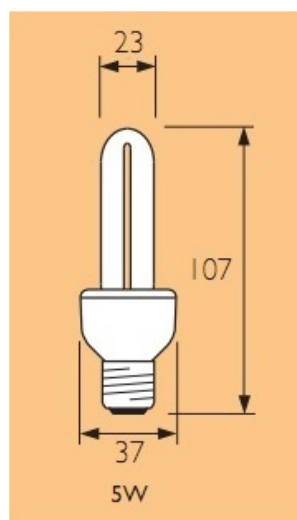
A parte digital do circuito (microcontrolador e *display*) funciona a 5V, visto que circuitos digitais exigem esta especificação. Para fazer isto, foi utilizado um regulador de tensão modelo LM7805 em encapsulamento TO-220. Este regulador estabiliza em 5V a tensão que vem da fonte de alimentação.

### 2.2.1 Iluminação do Sistema

A fonte de luz utilizada no projeto foi uma lâmpada *Philips Genie* (marca *Philips*), modelo 5W de potência, com especificação de tensão 110-127V. Esta lâmpada foi escolhida por diversos motivos, listados abaixo:

- Temperatura de cor 6500K (obrigatório para o projeto);
- Funciona diretamente na tensão de rede 110-127V;
- Encaixe padrão universal (base E27);
- Compacta;
- Baixo custo.

A Figura 2.3 mostra a lâmpada e suas dimensões físicas (em mm), de acordo com o catálogo do fabricante (PHILIPS, 2009):



*Figura 2.3: Ilustração da lâmpada Philips Genie (5W) e suas dimensões físicas (em mm) (PHILIPS 2009)*

O espectro de emissão da *Philips Genie* (5W) foi levantado com um espectrofotômetro. O espectrofotômetro utilizado foi o *Ocean Optics USB2000+UV-VIS*, disponível no LIO, e o gráfico da Figura 2.4 traça o espectro da lâmpada (Intensidade luminosa em função do comprimento de onda):

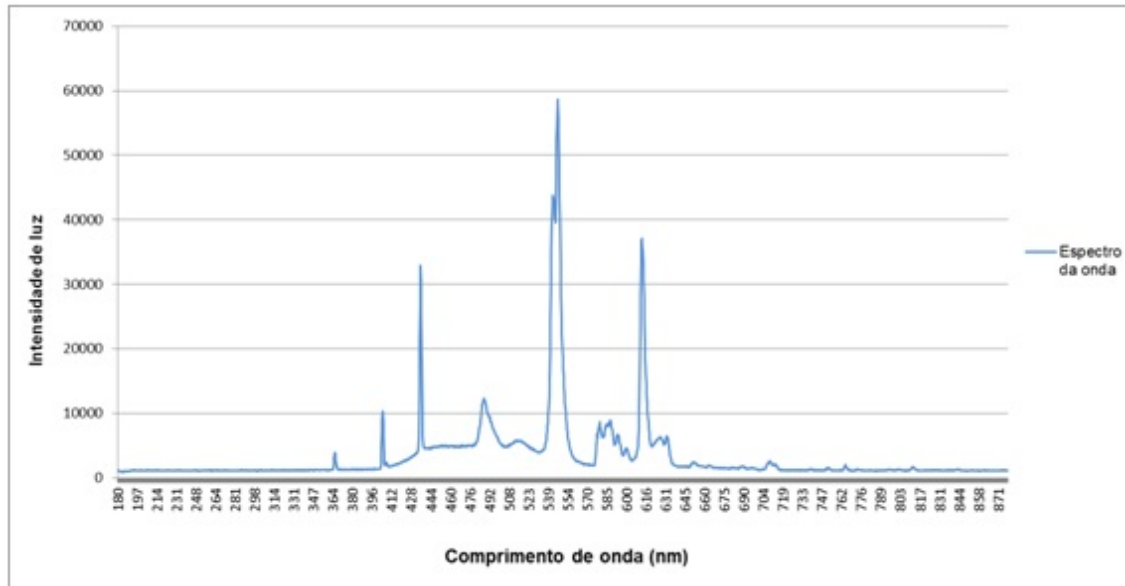


Figura 2.4: Espectro da lâmpada *Philips Genie* (5W) [Intensidade luminosa (em unidade arbitrária, apenas para efeito de comparação) X Comprimento de onda em nm]

Analisando o espectro levantado, podemos dizer que a lâmpada é adequada para o projeto, pois apresenta um espectro de emissão concentrado na luz visível, considerando que o olho humano tipicamente responde a comprimentos de onda entre 390 a 750 nm (STARR; MCMILLAN, 2010), sem raias espectrais significativas fora desta faixa (CATELLI et al., 2006).

O sistema como um todo funciona na rede elétrica a 110-127V. As lâmpadas, como descrito neste item, são ligadas diretamente na tensão da rede.

## 2.2.2 Sensor Óptico

De uma maneira geral, sensores são dispositivos que reagem a estímulos físicos. Em engenharia elétrica, os sensores que transformam um tipo de energia em outra são conhecidos como transdutores. Normalmente, estes elementos recebem um estímulo através de alguma forma de energia, convertendo-a em um sinal (energia) elétrico em sua saída.

Um dos tipos mais comum de transdutores são os sensíveis à luz, conhecidos como fotodetectores. Dentre estes, um dos tipos mais utilizados são os fotodiodos.

Fotodiodos são elementos formados por uma junção de semicondutores (junção PN) que respondem à estímulos de luz com um sinal elétrico em sua saída. Ao receberem luz, variam sua resistência e geram sinal elétrico na saída (comumente uma tensão ou corrente)

(COX, 2001).

Os sensores deste projeto têm a finalidade de captar a luz emitida pela lâmpada após atravessar o polarizador e a lente do óculos e transformá-la em um sinal elétrico, que será enviado para as outras partes do circuito. Eles são os primeiros componentes deste circuito, a entrada, podendo ser considerado a interface entre a parte óptica e a eletrônica do sistema.

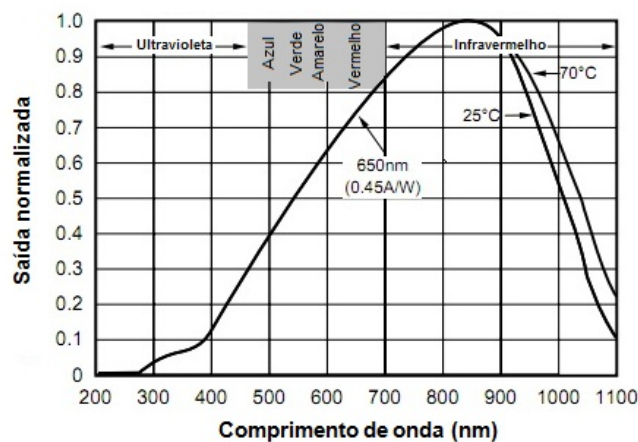
Para esta finalidade específica, utilizou-se o fotodiodo modelo OPT101P-J, encapsulamento DIP 8 pinos em plástico transparente, que já inclui um amplificador interno e já é amplamente utilizado nos projetos do LIO. A Figura 2.5 ilustra este sensor.



*Figura 2.5: Fotodiodo OPT101P-J (encapsulamento DIP 8 pinos)*

Este sensor opera com uma alimentação de +2.7 a +36V, sendo que no projeto foram testadas as tensões de 9 e 12V, conforme descrito no item 2.2.

A luminosidade captada é transformada em um sinal analógico de tensão, disponibilizado na saída do sensor. O OPT101P-J fornece uma tensão de saída diretamente proporcional a intensidade da luz captada, de forma praticamente linear na faixa que compreende os comprimentos de onda da luz visível, conforme mostra o gráfico da Figura 2.6, extraído da folha de dados do fabricante (TI, 2003).



*Figura 2.6: Resposta normalizada do sensor em função do espectro de luz (Sinal de saída normalizado X Comprimento de onda em nm) (TI, 2003)*

O fotodiodo OPT101P-J possui um amplificador interno. Este amplificador trabalha

com um resistor de  $1\text{M}\Omega$ , sendo que esta amplificação padrão é obtida ligando-se diretamente o pino 4 no pino 5 do sensor (a saída do sensor está no pino 5).

Porém, há a opção de se fazer o ganho externamente, conforme as necessidades do projeto. Este ganho é obtido através de um resistor em paralelo com um capacitor entre os pinos 2 e 5 do sensor. O esquema de montagem pode ser visto na Figura 2.7, extraída da folha de dados do fabricante (TI, 2003).

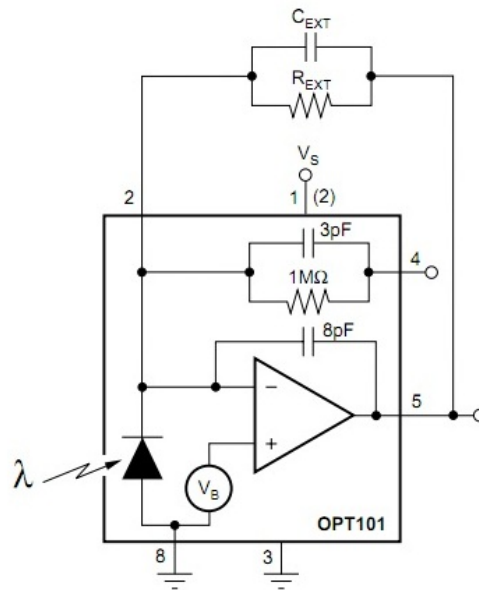


Figura 2.7: Esquema de amplificação com componentes externos ao fotodiodo (TI, 2003)

A opção de utilizar um ganho externo se mostrou extremamente interessante para o projeto. Isto porque é possível ajustar a saída do sensor de modo que a resposta para a iluminação máxima (polarização mínima) fique igual a 5V. Desta forma, é possível obter uma escala maior e, conseqüentemente, uma melhor precisão para o sistema.

Para otimizar o processo, foi utilizado um potenciômetro de  $2\text{M}\Omega$  em vez de um resistor fixo. Isto permite que seja possível ajustar o ganho a qualquer momento, sem precisar substituir nenhum componente. O capacitor utilizado foi o de  $56\text{pF}$ , que dá uma boa estabilidade ao sinal e permite o livre ajuste do potenciômetro conforme a necessidade, sem prejudicar o tempo de resposta do sistema. Para o pior caso, com o potenciômetro ajustado em  $2\text{M}\Omega$ , o cálculo do tempo de subida (*rise time*) do sensor fica em torno de  $40\mu\text{s}$ . A Tabela 2.1 mostra alguns valores fornecidos na folha de dados do fabricante (TI, 2003), e (2.1) traz a fórmula utilizada para calcular o tempo de subida do sensor.

$R_{EXT}$ ( $M\Omega$ )	$C_{EXT}$ (pF)	Ganho CC ( $\times 10^6 V/A$ )	Largura de Banda (kHz)
0,05	56	0,05	58
0,1	33	0,1	44
1	-	1	23
2	-	2	9,4
5	-	5	3,6
10	-	10	1,8
50	-	50	0,34

*Tabela 2.1: Exemplos de ganhos obtidos na saída do fotodiodo utilizando resistor e capacitor externos*

$$t_r = \frac{0,35}{f_c} \quad (2.1)$$

Em (2.1),  $t_r$  (de 10% a 90%) é o tempo de subida do sensor, e  $f_c$  a largura de banda (*bandwidth*) com corte em -3dB.

### 2.2.3 Microcontrolador

Microcontroladores são componentes que agregam em um único chip as funções de um computador, com processador, memória e periféricos de entrada e saída. Este tipo especial de microprocessador pode ser programado para realizar funções específicas, e normalmente está embarcado dentro de um sistema maior, no qual tem a função de controlar e gerenciar tarefas (PEREIRA, 2009).

Com dispositivos extremamente úteis na montagem de circuitos eletrônicos, como conversor A/D, por exemplo, os microcontroladores são muito atraentes em projetos onde não se requer um poder de processamento muito alto. O baixo consumo de energia e a facilidade do uso de um único *chip*, capaz de realizar funções específicas e operações complexas, tornou o uso de microcontroladores muito diversificado (PEREIRA, 2009).

A Figura 2.8 ilustra o diagrama de blocos básico de um microcontrolador:

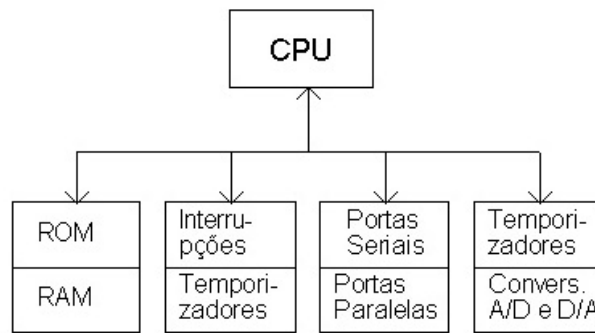


Figura 2.8: Diagrama de blocos básico de um microcontrolador

O microcontrolador pode ser considerado considerado como o “coração” do sistema, pois faz todo o processamento de sinais. É ele quem recebe os valores de tensão de saída dos sensores e os transformam em informações amigáveis ao usuário, através da interação com o *display*.

Para o projeto o microcontrolador PIC18F4550, chip com 40 pinos em encapsulamento PDIP mostrou ser adequado. Ele possui um conversor A/D interno de 10 bits em até 8 canais. O *clock* interno, utilizado no sistema, é de 8MHz. Há ainda outras saídas, que podem ser aplicadas para outras finalidades, tais como acender LED’s, que foi implementada neste projeto.

A Figura 2.9 mostra o diagrama de pinos do microcontrolador utilizado e seu aspecto físico.

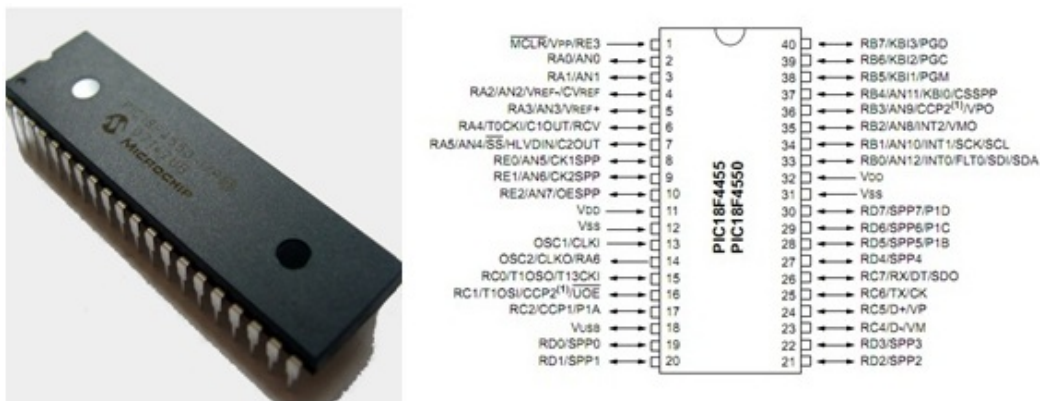


Figura 2.9: (a) Foto ilustrativa e; (b) pinagem do microcontrolador PIC18F4550

As funções que o microcontrolador realiza no projeto são:

- Conversor A/D do sinal de tensão da saída do sensor;
- Controlar o *display* e os sinais de alerta (interface equipamento-usuário);
- Realizar operações matemáticas entre os sinais convertidos (incluindo cálculo dos pontos de máximo e mínimo).



Um conversor analógico-digital (aqui chamado apenas por conversor A/D) é um dispositivo eletrônico que possui a capacidade de gerar uma representação digital a partir de uma grandeza analógica, normalmente um sinal elétrico.

Os conversores A/D são largamente utilizados em eletrônica, servindo de interface entre dispositivos analógicos e digitais, nas mais diversas aplicações (PEREIRA, 2009).

No projeto, a ideia de converter os sinais analógicos em digitais (através do conversor A/D) e apresentá-los como informações úteis ao usuário através de um meio de interação (utilizando o *display*), de maneira amigável, fez o uso de um microcontrolador ser o ideal, seguindo a forte tendência em eletrônica de usar este tipo de dispositivo.

O PIC18F4550 possui um conversor A/D interno de 10 bits, capaz de assumir valores de 0 (0000000000), valores em decimal e binário, respectivamente, a 1023 (1111111111). Assim, é possível obter 1024 diferentes níveis discretos, 1024 valores entre 0 e 5V. Isto dá uma precisão de, aproximadamente, 0,1%, como calculado em (2.2) (aproximadamente 5 mV).

$$r(\%) = \frac{100\%}{2^{10}} \approx 0,1\% \quad (2.2)$$

Como é o próprio microcontrolador que processa o sinal e envia os valores para o *display*, essa conversão se mostrou muito rápida e eficiente. Segundo a folha de dados do fabricante (MICROCHIP, 2009), a velocidade de aquisição é de  $5.2\mu\text{s}$  para temperaturas até  $25^\circ\text{C}$ , e  $6.4\mu\text{s}$  para temperaturas acima de  $25^\circ\text{C}$ .

#### 2.2.4 *Display*

O *display* de LCD, que faz a interface com o usuário, é controlado pelo microcontrolador. São enviadas a ele as principais informações, devidamente convertidas em formato digital.

O *display* é atualizado em frações de segundo, conforme definido pela programação descrita no item 2.3. O valor atual de tensão é apresentado constantemente (a cada 200ms), e os valores máximos e mínimos de luminosidade, assim que detectados, também são exibidos na tela do *display*.

O *display* utilizado no projeto foi o JHD204A, modelo com matriz de caracteres de 20x4 (colunas x linhas) e 16 pinos de ligação. A opção por um *display* com 4 linhas foi feita visando fornecer ao usuário um número maior de informações.

Para a comunicação entre o *display* e o microcontrolador, são utilizados três pinos de controle (RS, R/W e E, pinos 4, 5 e 6, respectivamente) e quatro pinos para a transmissão de dados (pinos 11 a 14). Foi escolhida a comunicação por meio de *nibbles* (1/2 byte), o que permite reduzir o número de vias de transmissão de dados pela metade (IDOETA; CAPUANO, 2004).

A alimentação do *display* é feita no pino 2, em 5V, e a referência está no pino 1. O pino 3 funciona para a regulagem do contraste dos caracteres exibidos no *display*. No projeto, ele está ligado a um potenciômetro, que permite regular a tensão fornecida até o máximo de 5V. A alimentação do LED de iluminação da tela é feita no pino 15, tendo o pino 16 conectado à referência. No projeto, o pino 15 também está ligado a um potenciômetro, podendo-se assim regular também o brilho da tela. A Figura 2.10 ilustra o esquema geral de ligação do *display* utilizado:

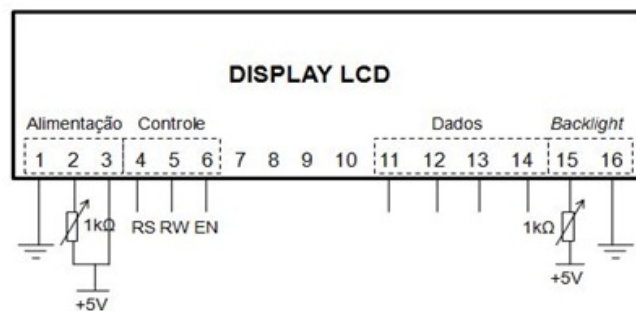


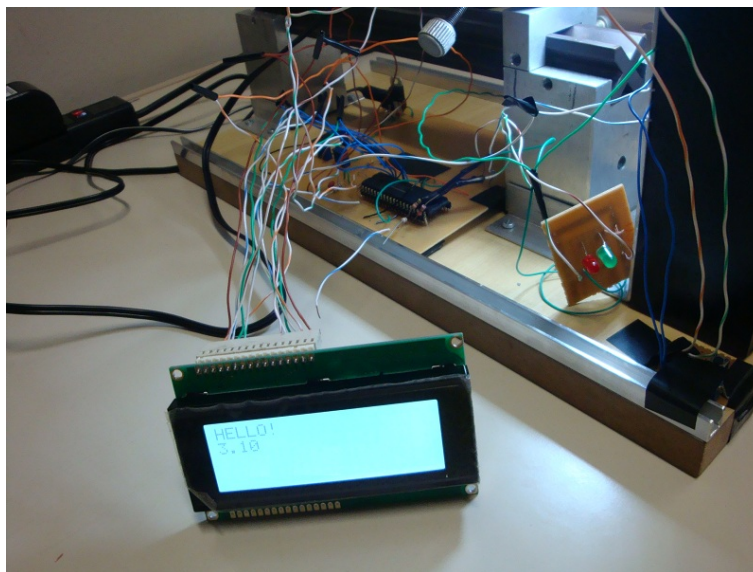
Figura 2.10: Esquema geral de ligação do *display* de LCD

Os valores de máxima e mínima intensidades de luz são os valores essenciais a serem detectados. São eles que definem o ângulo de polarização das lentes, são os valores buscados e que mostram se os óculos testados estão ou não dentro das normas estabelecidas.

Dada esta grande importância, foi dedicada uma atenção especial a estes pontos. O algoritmo desenvolvido, além de detectá-los e exibi-los na tela do *display*, avisa o usuário de que o ponto foi atingido. Há dois tipos de alerta:

- Sonoro: Um alto-falante emite um sinal de “bip” para o ponto de mínimo e dois sinais para o ponto de máximo;
- Visual: Para o ponto de mínimo, um LED verde é acendido (simultaneamente com o respectivo sinal de “bip”), e para o ponto de máximo ocorre o mesmo, desta vez com um LED na cor vermelha.

A Figura 2.11 mostra a montagem opto-eletrônica do sistema:



*Figura 2.11: Montagem opto-eletrônica do sistema*

## 2.3 Processamento de Dados

O processamento de dados é feito através de programação, e tem um papel fundamental dentro do desenvolvimento do sistema. É a programação que define e controla as ações do microcontrolador e, conseqüentemente, de toda aquisição, conversão e transmissão dos sinais, exibindo-os como informações úteis ao usuário do sistema.

O programa desenvolvido para controlar o microcontrolador capta os sinais de tensão analógicos emitidos pelos sensores, faz uma média de um determinado número de amostras (o valor de amostras que compõe a média pode ser alterado pelo programador, conforme a necessidade) afim de se eliminar a influência de ruídos nos resultados, converte as médias obtidas para representação digital e exibe os valores na tela do *display*. Também por meio de programação, fazendo-se de comparações entre os valores medidos sequencialmente, obtém-se os valores de máximo e mínimo a serem exibidos na tela, e disparam-se os sinais de alerta sonoros e visuais.

Foi utilizada a linguagem C, através do *software* MPLAB IDE. Este *software* possui diversos recursos como, por exemplo, bibliotecas que facilitam a programação, através de funções definidas para simplificar a construção do programa. A opção pela linguagem C, de alto padrão, trouxe vantagens no desenvolvimento, quando comparada à linguagem *Assembly*, de baixo nível, muitas vezes utilizada em microcontroladores. Por ser mais rápida e fácil de se trabalhar, a linguagem C também trouxe uma grande portabilidade à programação do PIC18F4550, visto o uso amplamente difundido que essa linguagem possui (PEREIRA, 2009).

A versão final do programa desenvolvido encontra-se no Anexo A.

### 2.3.1 Amostragem e Taxa de Atualização do *Display*

Dois pontos que merecem um destaque especial dentro da programação são a amostragem e a taxa de atualização do *display*.

Uma das possíveis definições de amostragem pode ser dita como o processo de medição instantânea de valores de um sinal analógico em intervalos regulares. No projeto, a velocidade de aquisição depende da velocidade do conversor A/D do microcontrolador. São  $5.2\mu\text{s}$  para temperaturas até  $25^{\circ}\text{C}$ , e  $6.4\mu\text{s}$  para temperaturas acima de  $25^{\circ}\text{C}$ . Considerando que a temperatura de trabalho no laboratório para certificações de lentes é de  $23^{\circ}\text{C}$ , controlados por ar-condicionado, podemos considerar o valor de  $5.2\mu\text{s}$ .

Como na bancada há um grande número de ruídos, considerando fatores como os contatos da *proto-board*, não tão precisos quanto os de um circuito impresso, as variações na luminosidade (apesar do circuito ter sido fechado em um invólucro escuro) e a própria imprecisão dos componentes eletrônicos, foi feita uma média para cada 1000 valores adquiridos. Isto não compromete a velocidade de resposta do sistema, visto que mesmo 1000 medições levam apenas 5,2ms para serem realizadas, já que o conversor A/D do microcontrolador tem uma resposta muito rápida. Estas 1000 medições garantem a eliminação da influência de ruídos nos valores enviados ao *display*.

Considerando que as definições de máximo e mínimo são feitas comparando-se sucessivos valores medidos, colocados dentro de um vetor, e que o *display* mostra instantaneamente o atual valor medido, uma atualização a cada 5,2ms é desvantajosa, pois corre-se um alto risco dos valores dentro do vetor serem iguais em todas as posições, gerando erros para encontrar os máximos e mínimos, dado que o giro manual dos polarizadores dificilmente será feito a uma taxa tão rápida com boa precisão.

Por estes motivos citados, é importante colocar um atraso *delay* na atualização dos valores exibidos na tela do *display*. Testes de repetibilidade feitos no laboratório mostraram que usualmente as pessoas demoraram cerca de 20s para percorrer  $90^{\circ}$  de giro. Isto dá cerca de 0,2s para grau. Sendo assim, foi implementado um atraso de 0,2s na taxa de atualização (*refresh rate*) do *display*.

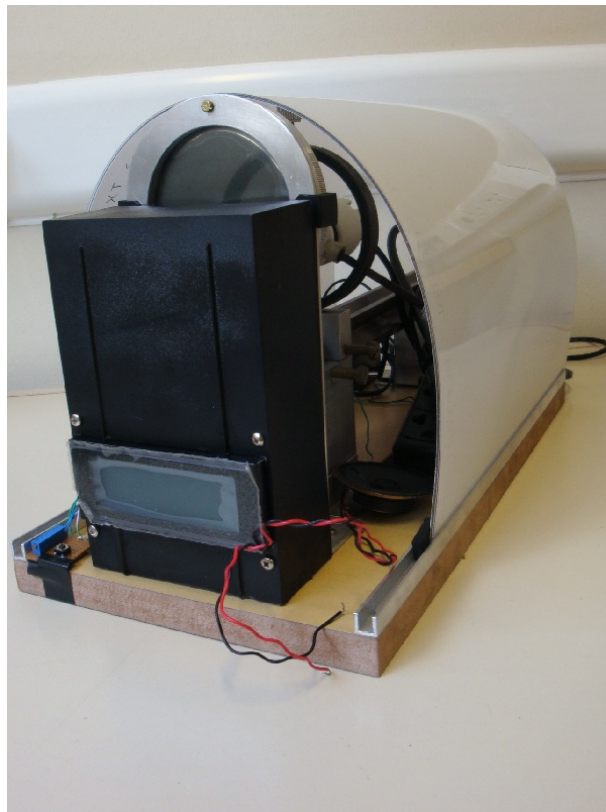
Este ponto mostra a importância de se implementar futuramente um processo automatizado de giro dos polarizadores, melhoria que será incluída na discussão do projeto e sugerida na continuação do mesmo.

### 3 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados foram obtidos através de testes com o sistema em bancada, no *protoboard*, isolado de interferências externas de iluminação. A calibragem do sistema é ajustável, e foi feita através do potenciômetro que mantém a escala de tensão entre 0 e 5V, e o ajuste de brilho da tela do *display*, bem como o dos caracteres exibidos, podem ser controlados por dois potenciômetros independentes.

Os filtros polarizadores utilizados estão posicionados em base de alumínio, com marcações a cada  $1^\circ$ . As marcações de máximo e mínimo foram acusadas pelos sinais de alerta, e exibidas na tela do *display*, com baixo atraso (cerca de 0,6s pelos valores programados) e, assim que o ponto (de máximo ou mínimo) era detectado, verificou-se manualmente nos polarizadores o ângulo no qual o ponto foi alcançado.

Por último, o sistema foi montado fora da bancada, compondo assim o protótipo. A Figura 3.1 mostra esta montagem final:



*Figura 3.1: Protótipo em sua montagem final*

#### 3.1 Erro de Flutuação

Foi medido o erro com o sensor no escuro absoluto (*dark error*), com o intuito de se verificar a flutuação do sistema e a margem de erro que deve ser considerada nos valores medidos. A flutuação ficou com média em torno de 17mV, como mostra a Figura 3.2,

obtida no osciloscópio (para o potenciômetro ajustado em  $1,53\text{M}\Omega$ , capacitor de  $56\text{pF}$ ).



*Figura 3.2: Flutuação do sistema (no escuro) medida no osciloscópio*

Pelo formato de onda encontrado (tipo senoidal), acredita-se que as flutuações foram causadas por instabilidades vindas do sinal da rede elétrica. Como abordado no item 2.2, o uso de baterias na alimentação dos circuitos pode ser uma solução para este problema.

### 3.2 Repetibilidade

Nas condições descritas foram feitos os testes de repetibilidade. Segue abaixo a metodologia utilizada em relação à comparação dos resultados obtidos.

A lâmpada foi posicionada axialmente com os sensores (sistema montado em bancada), e os filtros polarizadores interpostos entre a lâmpada e o sensores. Um dos filtros permaneceu fixo e o outro podia ser rotacionado manualmente de forma a variar a intensidade de luz que chega ao sensor. Foi feita uma varredura manual (de  $0$  a  $180^\circ$ ) e os pontos de máxima e mínima luminosidade identificados pelos sistemas. Os ângulos encontrados nesta primeira medição foram marcados no suporte dos polarizadores, e serviram como referência para as medições seguintes. Apenas as repetições que sofreram problemas durante a execução das medições, como, por exemplo, o polarizador escorregar da base ou ocorrer alguma mudança brusca inesperada na iluminação do ambiente (visto que o sistema não estava isolado completamente), tiveram seus valores descartados.

A Tabela 3.1 traz os resultados obtidos em 15 (quinze) sucessivas medições e a Figura 3.3 ilustra uma medição realizada, exibida na tela do *display*:

Medição	Valor max	Ângulo max	Valor min	Ângulo min
1	4,99V	Ref.	1,20V	Ref.
2	4,99V	0°	1,16V	+1°
3	4,99V	-1°	1,12V	+2°
4	4,98V	0°	1,14V	+1°
5	4,99V	0°	1,12V	+2°
6	4,98V	+1°	1,08V	+2°
7	4,98V	+1°	1,18V	-2°
8	4,99V	+2°	1,22V	-2°
9	4,99V	0°	1,19V	-1°
10	4,99V	+2°	1,20V	-3°
11	4,99V	0°	1,16V	0°
12	4,99V	-1°	1,12V	+2°
13	4,98V	0°	1,13V	+2°
14	4,99V	0°	1,17V	-1°
15	4,99V	+1°	1,16V	+1°

*Tabela 3.1: Resultados obtidos nos testes de repetibilidade (15 repetições)*



*Figura 3.3: Exemplo de medição feita exibida na tela display, controlado pelo microcontrolador. Também na figura, os componentes de alerta (alto-falante e LED's)*





## 4 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Os Resultados Experimentais obtidos mostram que o sistema desenvolvido funciona corretamente dentro do que foi proposto, ou seja, é capaz de indicar num intervalo de 0 a 5V os pontos de máxima e mínima polarizações. Embora os testes tenham sido feitos com dois filtros polarizadores, certificou-se a viabilidade de fazê-lo com lentes de óculos de sol, substituindo o polarizador fixo pela lente a ser testada.

O teste de repetibilidade apresentou bons resultados, porém o sistema poderia alcançar maior precisão caso alguns fatores fossem aprimorados:

- 1. Flutuação da rede elétrica - O uso de baterias na alimentação dos circuitos pode resolver este problema;
- 2. Rotação manual dos polarizadores (o sistema de automação de rotação dos polarizadores deverá ser implementado na continuação do projeto) - Esta é uma implementação que pode ser feita através de motores de passo, que têm, neste caso, de ser controlados para dar passos a cada 1°. Outra vantagem nesta implementação é que pode-se calcular com precisão o tempo que se demora para dar cada passo, permitindo que o sistema de atualização do *display* e do vetor de comparação que identifica os pontos de máximo e mínimo possa ser programado de maneira exata;
- 4. Ruídos de *protoboard* - A montagem final do protótipo já foi feita fora do *protoboard*.

Muito embora os resultados aqui obtidos ainda estejam aquém dos necessários para tornar o protótipo um equipamento comercial, é de se destacar a inovação implementada na contrução deste projeto, visto que não há registro de equipamento que realize este tipo de medição de maneira automatizada. Os registros na literatura são poucos, e as bibliografias escassas, por tratar-se de equipamento para certificação.

Como resultado acadêmico, este trabalho possibilitou o aprendizado de várias etapas no desenvolvimento de um sistema, e contribuiu para uma melhor formação no curso de Engenharia Elétrica. Desde entender a norma brasileira NBR 15111:2004, passando por escolher os componentes a serem utilizados, aprender sobre óptica e realizar medidas em espectrofotômetro, aplicar na prática os conceitos de eletrônica, utilizar componentes como o sensor óptico, microcontrolador (juntamente com o programador PIC) e o *display*, além dos sinais de alerta, etc. Este trabalho, em poucos meses, permitiu atingir uma maior maturidade e ter iniciativa para resolver problemas, o que reflete o dia-a-dia de um engenheiro.

Assim, como conclusão deste projeto, o protótipo desenvolvido mostra a viabilidade para se obter um equipamento final para uso na certificação de lentes de óculos polarizados.



## 5 CONTINUAÇÃO DO PROJETO

Como dito na Introdução (Capítulo 1), a proposta do LIO é construir os equipamentos necessários para fazer as medições em óculos de sol exigidas na norma da ABNT. Desta forma, a continuação do projeto será dada no intuito de construir a versão final de um equipamento para medição da polarização em lentes de óculos de sol.

A partir do protótipo construído, já há uma boa parte do equipamento feito. Os próximos passos são a automação do giro dos polarizadores, implementação de sensores de posição para detecção automática dos ângulos de polarização, e duplicação do sistema, entre iluminação, filtro polarizador e sensor, para permitir a análise de ambas as lentes do óculos simultaneamente.

O protótipo tem de ser testado por vários usuários, e os pontos positivos e negativos levantados. Isto levará a fazer as melhorias no equipamento que apenas o uso rotineiro consegue apontar. E, após implementar as melhorias, teremos versões mais aperfeiçoadas do equipamento, até chegar em uma versão final, mais precisa, confiável e de fácil utilização, pronta para o mercado.

Para os próximos passos do projeto pode-se destacar novos alunos, tanto para o desenvolvimento de um projeto de iniciação científica quanto para um novo projeto de TCC, como neste trabalho. Desta forma haverá novos desafios, auxiliando na formação dos alunos, e disseminando o mesmo conhecimento que pude experimentar ao longo deste projeto.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta de construir um protótipo de teste para lentes solares polarizadas foi um grande desafio apresentado. Um problema desta natureza requer grande esforço e dedicação, pois trata-se de um aparelho a ser utilizado em questões de saúde pública, já que, como visto na introdução deste trabalho, a indevida exposição dos olhos aos raios solares pode causar diversas doenças oculares. Levando-se em conta a escassez de fontes de pesquisa e trabalhos (ou equipamentos) semelhantes, este desafio se tornou ainda maior.

Um projeto como este, iniciado do zero, tem diversas possibilidades de construção, sendo a metodologia um fator determinante para o sucesso ou não. A sequência escolhida, entre opto-mecânica, opto-eletrônica e processamento de dados, mostrou-se eficiente, pela própria estrutura lógica que o sistema segue, e como as informações caminham ao longo das estruturas que o compõe.

A partir daí, a grande dificuldade foi a falta de fontes, principalmente de conhecimento, mas por vezes também de material adequado. Uma grande pesquisa foi empregada, e os componentes adquiridos assim que se encontrava um fornecedor. Mas tudo isso agiu contra o tempo, atrasando a montagem do sistema.

Com o sistema construído, resultados muito bons foram obtidos. Apesar do projeto ainda estar em bancada nesta etapa, mais sujeito a ruídos e sem todas as partes mecânicas que fariam-no funcionar da maneira mais otimizada, os valores encontrados mostraram uma boa estabilidade, aferida nos testes de repetibilidade.

Uma série de ajustes foi feita ao longo do projeto. Posicionamento do sensor, ajustes de ganho, ligações do microcontrolador, resposta do *display*, implementação dos sinais de alerta, programação e temporização do sistema, foram os principais pontos que passaram por constantes mudanças. Mas isto se mostrou muito útil para conseguir bons resultados. A montagem cuidadosa, passo-a-passo, garantiu esta eficiência, e continuará sendo importante na continuidade da construção do equipamento final.

Sabe-se que ainda há alguns pontos a melhorar, algumas implementações a serem realizadas, mas considerando-se que o que foi construído até agora está bem estruturado, estas realizações ficarão mais fáceis, e o projeto final do equipamento também deverá alcançar bons resultados.

Esta foi uma grande experiência, e permitiu aplicar uma série de conhecimentos acumulados durante o curso, além de aprender vários outros novos conteúdos, especialmente nas áreas de óptica e de eletrônica. Este tipo de projeto amplia a visão do estudante, dado todo o processo, desde a pesquisa, até a implementação das teorias na prática. Este último aspecto é de suma importância, já que em sala de aula poucas vezes há a oportunidade de ver como funcionam as teorias na prática, aplicadas em algum projeto. A capacidade em resolver problemas e a inovação do projeto também são fatores relevantes a serem destacados, dadas as suas importâncias no dia-a-dia de um engenheiro.

O projeto também traz benefício para a sociedade, que poderá ter equipamentos precisos e confiáveis, que certificam os produtos que são oferecidos no mercado, garantindo qualidade e, assim, preservando a saúde das pessoas.

Portanto, considero que o objetivo do trabalho de conclusão de curso foi alcançado, visto que foi construído um protótipo com bom sistema de medições, e que a continuação do projeto de construção do equipamento final deve transcorrer sem maiores problemas. Além disso foi possível acumular bons conhecimentos, utilizando tanto o que foi aprendido ao longo da graduação quanto aprendendo novos assuntos.

## ANEXO A - Código do Programa

Segue abaixo o programa desenvolvido para controlar o microcontrolador, convertendo e interpretando ossinais proveniente dos sensores e, em seguida, enviando-os para o *display*. O código também detecta os pontos de mínima e máxima polarização, avisando o usuário com os sinais de alerta sonoro e visual e exibindo-os resultados na tela.

---

```
1 //*****
2 //***** Medidor de Polarização *****
3 //***** Autor: Marcus Vinícius Ribeiro Diniz *****
4 //*****
5
6 #include "C:\Users\Marcus\Desktop\PIC\Polarizador\18f4550.h"
7
8 #fuses INTHS,NOPUT,NOWDT,NOPROTECT,NOBROWNOUT,NOLVP          // Configurações
   Iniciais
9 #fuses NOSTVREN,NOPBADEN,WDT1,PLL2
10 #device ADC=10
   // ***** AD de 10 bits *****
11 #use delay (clock = 8000000)                                     // MCU clock = 8 MHz
12 #use rs232(baud=9600, uart , Bits=8,Parity=N, Stop=1,)
13
14 // Definindo saídas dos LEDs de sinalização
15 #define LED0                PIN_C0
   // LED verde      - Pino 15
16 #define LED2                PIN_C2
   // LED vermelho - Pino 17
17
18 #include "C:\Users\Marcus\Desktop\PIC\Polarizador\lcd_plus.h"
19
20 float conv[7] = {0,0,0,0,0,0,0};                                //
   Vetor de 7 posições (começa na posição zero) inicializado com zeros
21 float soma, media, aux, min1, min2, max1, max2;
22 long int i;
23
24 void main()
25 {
26
27     setup_oscillator(osc_8MHz);
   // Oscilador interno a 8 MHz
28
29     SETUP_TIMER_2(T2_DIV_BY_1, 255, 1);                          //
   Timer necessário p/ o bip
30
```

```

31  SETUP_ADC(ADC_CLOCK_INTERNAL);                                     //
    Conversor A/D com clock interno
32  SETUP_ADC_PORTS(AN0|VSS_VDD);                                     //
    Conversor A/D com referencia de alimentação
33  SET_ADC_CHANNEL(0);
    // Seleciona Porta analógica AN0 (Pino 2)
34
35  lcd_init();
    // Inicializa display LCD
36  lcd_putc("\f");
    // Limpa display LCD
37  delay_ms(1000);
    // Delay de 1s
38
39  lcd_gotoxy(1,1);
    //Referência "Coluna,Linha"
40  lcd_putc("HELLO!");
    //Mensagem inicial no LCD
41
42  min1 = 100;
    // Inicialização das variáveis de máximo e
    mínimo (Com valores "fictícios")
43  max1 = -100;
44  while(1)
45  {
46
47      soma = 0;
48      i=1;
49      for (i=1; i <=1000; i++)
        // Soma os ultimos 1000 valores medidos
50      {
51          aux = read_adc();
52          soma += aux;
53      }
54      media = soma/1000;
        // Amostragem para cada 1000 valores
        medidos
55      conv[6] = conv[5];
        // Rotação à direita para posteriormente
        colocar o valor atual na posição zero do vetor
56      conv[5] = conv[4];
57      conv[4] = conv[3];
58      conv[3] = conv[2];
59      conv[2] = conv[1];
60      conv[1] = conv[0];
61      conv[0] = (media/1023)*5;
        // Conversão do valor p/ 0 a 5 volts no LCD

```



```

62
63 lcd_gotoxy(1,2);
        // Exibe o valor atual no LCD
64 printf(lcd_putc,"%3.2f",conv[0]); //
        "%3.2f" = Float c/ comprimento mínimo total três e duas
        casas decimais
65
66 // VERIFICAÇÃO DE PONTO DE MÁXIMO
67 if (conv[3] > conv[2] && conv[2] > conv[1] && conv[1] >
        conv[0] && conv[3] > conv[4] && conv[4] > conv[5] &&
        conv[5] > conv[6] &&
68     conv[1] != 0 && conv[2] != 0 && conv[3] != 0 && conv[4]
        != 0 && conv[5] != 0 && conv[6] != 0)
69 {
70     max2 = conv[3];
71     if (max2 > max1)
        // Compara o "máximo
        local" com o "máximo global"
72     {
73         lcd_gotoxy(1,3);
74         lcd_putc("Max:");
75         lcd_gotoxy(8,3);
76         printf(lcd_putc,"%3.2f",max2); //
        Exibe o valor de máximo (Máximo
        global)
77         SETUP_CCP2(CCP_PWM);
        // Sinal de bip 1
78         OUTPUT_HIGH(LED2);
        // Pisca LED
        vermelho
79         delay_ms(200);
80         SETUP_CCP2(CCP_OFF);
81         delay_ms(50);
82         SETUP_CCP2(CCP_PWM);
        // Sinal de bip 2
83         delay_ms(250);
84         SETUP_CCP2(CCP_OFF);
85         OUTPUT_LOW(LED2);
86         max1 = max2;
87     }
88 }
89
90 // VERIFICAÇÃO DE PONTO DE MÍNIMO
91 if (conv[3] < conv[2] && conv[2] < conv[1] && conv[1] <
        conv[0] && conv[3] < conv[4] && conv[4] < conv[5] &&
        conv[5] < conv[6] &&

```

```

92         conv[1] != 0 && conv[2] != 0 && conv[3] != 0 && conv[4] !=
          0 && conv[5] != 0 && conv[6] != 0)
93     {
94         min2 = conv[3];
95         if (min2 < min1)
96             // Compara o "mínimo
          local" com o "mínimo global"
97     {
98         lcd_gotoxy(1,4);
99         lcd_putc("Min:");
100        lcd_gotoxy(8,4);
101        printf(lcd_putc,"%3.2f",min2); //
          Exibe o valor de mínimo (Mínimo
          global)
102        SETUP_CCP2(CCP_PWM);
103        // Sinal de bip
104        OUTPUT_HIGH(LED0);
105        // Pisca LED
106        verde
107        delay_ms(500);
108        OUTPUT_LOW(LED0);
109        SETUP_CCP2(CCP_OFF);
110        min1 = min2;
111    }
112 }
113
114 delay_ms(200);
          // Atualização do LCD a cada 0.2s
115
116 }

```

---

## REFERÊNCIAS<sup>1</sup>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15111:2004**: Proteção pessoal dos olhos - óculos de sol e filtros de proteção contra raios solares para uso geral. Rio de Janeiro, 2004.

CATELLI, F. et al. O que é uma "raia" espectral. *Física na Escola*, v. 7, n. 2, p. 70–72, 2006. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol7/Num2/v13a13.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2011.

COX, J. F. **Fundamentals of linear electronics: integrated and discrete**. Albany: Thomson Learning, 2001.

IDOETA, I. V.; CAPUANO, F. G. **Elementos de eletrônica digital**. São Paulo: Érica, 2004.

LUCAS, R. et al. Solar ultraviolet radiation: Global burden disease from solar ultraviolet radiation. *World Health Organization*, Genebra, 2006. Environmental Burden of Disease Series, No. 13. Disponível em: <<http://www.who.int/uv/health/solaruvradfull180706.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2011.

MICROCHIP. PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet. 2009. 28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nano Watt Technology. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2011.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC: Programação em C**. São Paulo: Érica, 2009.

PHILIPS. Lâmpadas Fluorescentes Compactas Integradas Genie. out. 2009. Disponível em: <[http://www.catalogosiluminacao.philips.com.br/imagem/produto/fluorescentes\\_compactas\\_economicas/manual/fluorescentes\\_economicas\\_genie\\_out2009.pdf](http://www.catalogosiluminacao.philips.com.br/imagem/produto/fluorescentes_compactas_economicas/manual/fluorescentes_economicas_genie_out2009.pdf)>. Acesso em: 31 mar. 2011.

SENADO FEDERAL. Projeto de lei nº 5534, de 2005 - emenda substitutiva que decreta o cumprimento das normas abnt na fabricação de óculos de sol. Brasília, DF, 1 mar. 2007. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/438705.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2011.

SHURCLIFF, W. A. **Polarized light; production and use**. Cambridge: Harvard University Press, 1962.

---

<sup>1</sup>Elaborado de acordo com a ABNT, sob a norma NBR 6023.

STARR, C.; MCMILLAN, B. **Human biology**. Pacific Grove: Brooks/Cole, 2010.

STEVENS w. R. **Principles of lighting**. Londres: Constable, 1951.

TI. Monolithic Photodiode and Single-supply Transimpedance Amplifier. out. 2003.  
Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opt101.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2011.

TIPLER, P. A. **Física para cientistas e engenheiros : eletricidade e magnetismo, ótica**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Sears e Zemansky física IV: ótica e física moderna**. São Paulo: Pearson, 2004.