

ADRIANO GUILHERME PIOTTO

**PROCESSAMENTO DIGITAL DE
DISPOSITIVO PARA MEDIDA DE
PROTEÇÃO UVA E UVB EM
ÓCULOS E LENTES**

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: Profa. Dra. Liliane Ventura

São Carlos
2007

Agradecimentos

Agradeço aos professores pela dedicação e conhecimento passados durante todas as aulas, na realização desta monografia e durante toda a minha vida acadêmica.

Agradeço também a meus pais e a todos meus amigos que foram essenciais e me ajudaram e apoiaram em todos esses anos de curso. Muitos poderiam ser citados aqui, mas agradeço em especial a meu amigo Alexandre Augusto Hamdan Siquara Garcia e a minha namorada Vanessa Cristina Ferreira, que me ajudam a ter certeza de que todos esses anos valeram a pena.

Índice

Agradecimentos	3
Índice.....	4
Índice de figuras.....	5
Índice de Tabelas.....	6
Resumo	7
Abstract	8
1. Introdução	9
1.1. O Olho Humano.....	9
1.2. A Radiação Ultra-Violeta	10
1.3. Danos Oculares e Proteção.....	12
1.4. O Sistema Ótico do Protótipo	16
2. Materiais e Métodos.....	18
2.1. Hardware	19
2.1.1. Microcontrolador.....	19
2.1.2. LCD	20
2.1.3. Controle da Lâmpada BLB	23
2.1.4. Conversor Analógico Digital (AD).....	24
2.1.5. Interface com usuário.....	30
2.2. Software.....	33
2.2.1. Controle do Display	34
2.2.2. Controle do Conversor A/D	36
2.2.3. Sub-rotinas adicionais utilizadas	36
2.2.4. Programa principal	40
3. Resultados	43
3.1. Calibração do sistema	44
4. Conclusão	45
5. Próximos Passos	46
6. Bibliografia	46

Índice de figuras

Figura 1 – O olho humano	9
Figura 2 – O espectro de radiação	10
Figura 3 – O espectro de irradiação solar.....	11
Figura 4 – Os raios UV e a estrutura ocular	15
Figura 5 – O funcionamento da absorção e proteção aos raios UV.....	16
Figura 6 – Diagrama em blocos do sistema ótico.....	16
Figura 7 – Diagrama em blocos do sistema	18
Figura 8 – Pinagem do microcontrolador.....	20
Figura 9 – Foto do LCD utilizado	21
Figura 10 – Pinagem do LCD	22
Figura 11 – Esquemático do acionamento da lâmpada BLB.....	24
Figura 12 – Pinagem do conversor ADC0808.	25
Figura 13 – Diagrama de tempos do conversor A/D	27
Figura 14 – Tensão de entrada versus valor digital na saída do conversor AD.....	28
Figura 15 – Display com a mensagem “Inicializando...”	30
Figura 16 – Display com a mensagem “Calibrando UVA”	30
Figura 17 – Display exibindo a seleção de teste	31
Figura 18 – Parte do circuito digital utilizado na simulação.....	31
Figura 19 – Caixa funcional, sistema eletrônico e lâmpada BLB	32
Figura 20 – Caixa funcional com representação do sensor e circuito analógico	32
Figura 21 – Interface de programação IAR.....	33
Figura 22 – Saída do <i>software</i> versus entrada no AD.....	43
Figura 23 – Tempo de estabilização da lâmpada.....	44
Figura 24 – Esquemático do Sistema	45

Índice de Tabelas

Tabela I - Espectro da Radiação Ultravioleta	10
Tabela II – Efeitos da radiação solar sobre o olho humano (adaptado de Vergaz, 2001)	13
Tabela III - Funções de cada pino do LCD JHD 162 A.....	22
Tabela IV - Estado lógico nas linhas de controle do LCD	23
Tabela V - Pinagem e funções do ADC0808.....	25
Tabela VI - Seleção de entradas do ADC0808.....	27
Tabela VII - Erros de conversão do AD	29

Resumo

Refere-se a um dispositivo opto - eletrônico, constituído de fonte e detector de radiação ultravioleta e componentes eletrônicos para o processamento digital e visualização dos resultados. A fonte utilizada para emitir radiação UVA e UVB é uma lâmpada fluorescente negra (BLB).

Foram realizados testes com algumas destas lâmpadas para se determinar a escolher a que contém o melhor espectro de irradiação. A ótica construída é simples e consiste em colimar a fonte de luz UV, de forma homogênea para que atinja a lente em sua parte central, evitando a refração nas bordas. Para detectar a radiação transmitida pelas lentes, os sensores utilizados são fotodiodos de silício tipo PIN. Sensores com filtros óticos serão testados para medir separadamente as radiações UVA e UVB. O circuito eletrônico analógico/digital será projetado de acordo com as características do sinal do sensor para mostrar em um *display* a porcentagem de radiação transmitida pelas lentes. O protótipo consistiu em projetar feixes de luz ultravioleta com uma lâmpada fluorescente (Sankyo denki BLB 6W) no intervalo de 280nm-400nm, de forma colimada, nas lentes a serem testadas e o sinal da luz transmitida é observada em um sensor de fotodiodo, com amplificador. Testes em bancada estão sendo feitos e os resultados serão comparados com um espectrofotômetro.

O escopo dessa fase do projeto e dessa monografia compreende apenas a parte digital e a interface com o usuário. A parte digital do sistema consiste de um microcontrolador AT89S52, de um conversor AD ADC0808 e de um oscilador projetado com um LM555. A interface com o usuário é feita através de um *display* de LCD e de botões para que o usuário possa escolher o tipo de medição que será feita. Assim, não será detalhada a fase de aquisição e amplificação do sinal nem de controle das lâmpadas de BLB com relés.

O protótipo está em fase de projeto e testes e ao ser concluído será utilizado no Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto.

Palavras-chave: UVA, UVB, microcontrolador, ADC0808, fotodiodo e LCD.

Abstract

The aim of this work is the development of a prototype for measuring the ocular protection of the UVA and UVB radiations offered by ophthalmic lenses. The prototype is an optoelectronic device, composed by ultraviolet radiation sources and detectors, having electronic components for the digital processing and results visualization. The chosen UV source is a black fluorescent light bulb, known commercially as BLB. Several lamps have been tested in order to let us know which one fits this project properly (the one that contains the most appropriated spectrum of irradiation). The constructed optics is simple and consists on collimating the UV light source to perform a homogeneous beam and to reach the lens in its central part, preventing the edges refraction. A PIN type silicon photodiode was selected to detect the transmitted radiation by the lenses. Optical filters will be tested to transmit and measure separately the UVA and UVB radiation. In order to display the percentage of transmitted radiation by the lenses in a graphic display, the analog/digital electronic circuit is being projected in accordance with the sensor electric signal features. The prototype consisted in projecting collimated ultraviolet beams with a fluorescent lamp (Sankyo denki BLB 6W) in the 280nm-400nm range on the tested lenses and the transmitted light is observed in a amplified photodiode sensor. Tests on work benches are being done and the results are being compared to measurements on spectrophotometer. Choosing the components for projecting this prototype has been the most complex phase of this project, once regular lenses cannot be used for collimating the beams since the ordinary glass absorbs a great amount of the ultraviolet radiation itself.

The focus of this part of the project, and of this monograph, comprises only the digital issues and user interface. The digital part of the system is consists of an AT89S52 microcontroller, an AD ADC0808 converter and an oscillator designed with a LM555. The user interface is obtained using an LCD display and buttons so that the user can select the type of measurement of his choice. Futhermore, the signal acquisition and amplification process nor the control of the light bulbs of BLB with relays will be detailed.

Keywords: UVA, UVB, microcontroller, ADC0808, photodiode and LCD.

1. Introdução

Para uma melhor saúde ocular, recomenda-se a utilização de óculos com proteção a raios ultravioletas [1]. Com o amplo uso popular de óculos escuros e a incerteza quanto à proteção oferecida, há a necessidade de verificação da proteção destes óculos. Este teste deveria ser oferecido em locais de fácil acesso à população como lojas, farmácias, hospitais, laboratórios, etc. O objetivo desta pesquisa é desenvolver um protótipo simples e economicamente acessível para viabilizar este procedimento.

Primeiramente foram estudados os danos oculares e os malefícios causados pelos raios UV [2]. Com isso pode-se concluir que a proteção deve ser total para UVA (315-400 nm) e UVB (290-315 nm) [3].

1.1. O Olho Humano

“O olho humano pode ser dividido em seis funções físicas fundamentais: a refração, cujos elementos responsáveis são a córnea, o cristalino e os humores aquoso e vítreo; a auto-focalização, feita pelo cristalino e pelos músculos ciliares; o controle da luminosidade interna feito pela íris e pupila; a detecção, feita pela retina (pelos cones e bastonetes); a transmissão da informação ao cérebro, feita pelo nervo e as vias ópticas; e a refrigeração da retina feita pela coróide.” [1] Os elementos essenciais do olho, considerado como um sistema ótico, são mostrados na Figura 1:

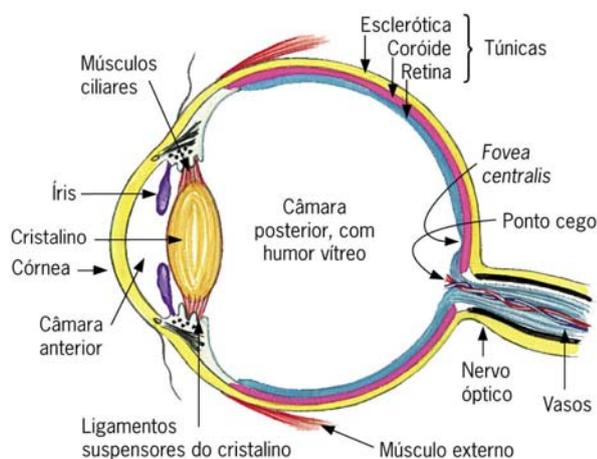


Figura 1 – O olho humano

1.2. A Radiação Ultra-Violeta

Assim como a luz visível, a radiação ultravioleta (RUV) é um tipo de radiação óptica, mas com menores comprimentos de onda e fótons com mais energia (partículas de radiação) do que a porção visível. A maioria das fontes luminosas emite pelo menos uma pequena quantidade de RUV. A radiação ultravioleta está presente na luz do sol e também é emitida por um grande número de fontes ultravioleta que são utilizadas na indústria, ciência e medicina. Algumas vezes, em ambientes pouco iluminados, fontes muito intensas de ultravioleta podem ser vistas. Porém normalmente a RUV é invisível e pode ser detectada por materiais fluorescentes quando iluminados com a RUV.

Da mesma maneira que a luz pode ser dividida em cores que podem ser vistas em um arco-íris, a RUV é subdividida e suas componentes são denominadas UVA, UVB e UVC. Estas regiões estão distribuídas no espectro como mostra a Figura 2.

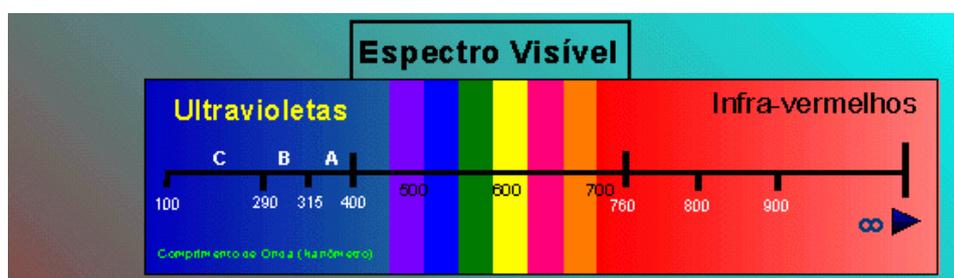


Figura 2 – O espectro de radiação

Regiões de radiação ultravioleta podem ser vistas na Tabela I.

Tabela I - Espectro da Radiação Ultravioleta

UV C	100 – 290 nm
UV B	290 – 315 nm
UV A	315 – 400 nm

Comprimentos de onda da luz e de RUV são geralmente medidos em nanômetros (nm). O UVC na luz solar é absorvido pela atmosfera e não chega até a superfície terrestre. Somente está disponível em fontes artificiais, como lâmpadas germicidas, que emitem grande parte de sua energia em apenas um comprimento

de onda (254nm), sendo assim bastante eficiente para matar bactérias e vírus em uma superfície ou no ar.

UVB é a radiação ultravioleta mais maléfica para o olho e para a pele. Apesar de grande parte de sua energia ser absorvida pela atmosfera, a porção que chega até a superfície terrestre produz queimaduras e outros efeitos biológicos. O UVA, que tem o maior comprimento de onda dentro da faixa de RUV, é normalmente encontrado na maioria de fontes luminosas e também é a RUV mais intensa que chega à Terra. Embora o UVA possa penetrar mais profundamente no tecido, o dano provocado não é tão grande como o UVB, pois a energia individual dos fótons são menores do que UVB ou UVC.

Desconsiderando alguma outra fonte de irradiação em conjunto, podemos estimar o espectro da irradiação solar como na figura Figura 3.

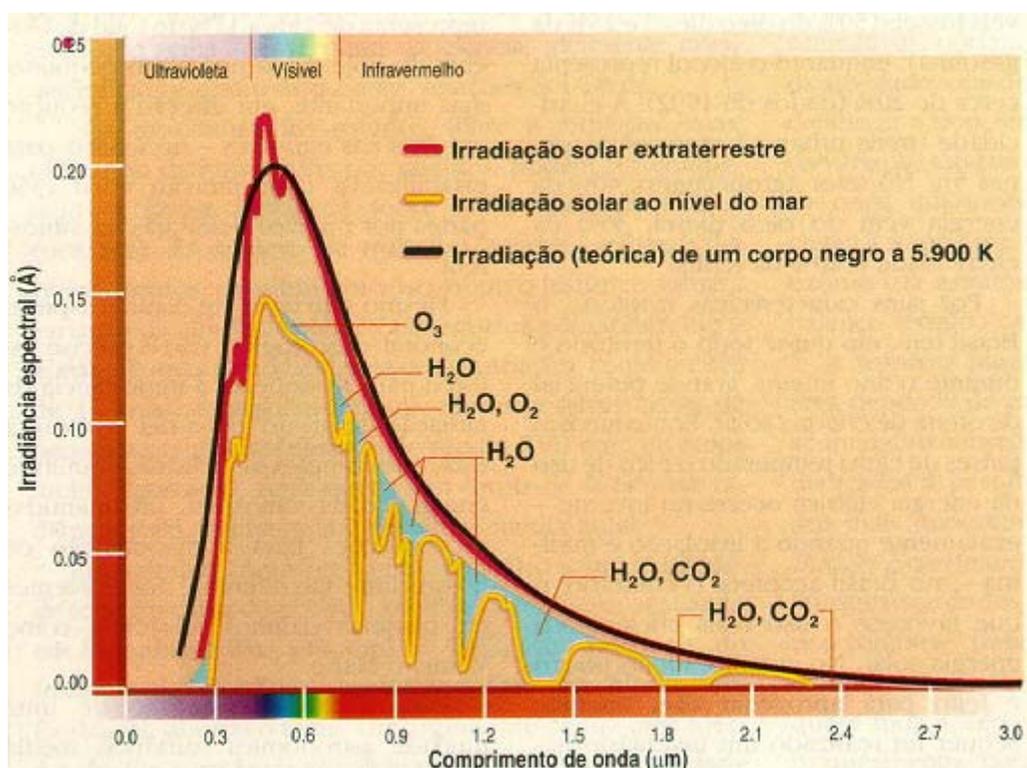


Figura 3 – O espectro de irradiação solar

A irradiação teórica do sol é descrita pela curva de cor preta, enquanto que a medida a nível do mar é descrita pela curva de cor amarela.

Através da figura podemos notar a notória 'Irradiância Espectral' da região ultravioleta, em comparação à luz visível e infravermelha.

Devido à diminuição da camada de ozônio que protege o planeta estar diminuindo, a radiação de raios ultra-violeta que chegam na superfície terrestre está aumentando gradativamente. Este fato, junto à notória Irradiância Espectral dos raios UV e sua toxicidade (que será explicada) ressaltam a importância e preocupação com o controle desta radiação.

Os efeitos biológicos da radiação ultravioleta são os seguintes:

- As lâmpadas que emitem RUV na faixa de UV-C tem na maioria dos casos um efeito germicida e normalmente não ocasionam sérios danos aos tecidos humanos. Além disso, boa parte da radiação solar UV-C é filtrada pela camada de ozônio. Os raios UV-C são utilizados comercialmente, por exemplo, para higienização de reservatórios de água e piscinas.
- Os principais efeitos biológicos são causados pelas faixas UV-A e UV-B da seguinte forma: A energia dos fótons incidentes causam a excitação eletrônica das moléculas atingidas, causando uma reação fotoquímica. Esta reação causa danos à estrutura do DNA e proteínas do tecido atingido.
- A exposição prolongada aos raios UV-A e UV-B podem causar queimaduras e câncer na pele. Os danos oculares serão explicados a seguir.

1.3. Danos Oculares e Proteção

Do mesmo modo que a radiação ultravioleta pode causar danos à pele humana, ela também pode ocasionar ou intensificar problemas e doenças nos olhos. De um modo geral, a exposição excessiva a qualquer tipo de radiação pode levar a algum tipo prejuízo à saúde dos olhos. A Tabela II apresenta, de acordo com o espectro de radiação, um resumo sobre esses possíveis problemas [6]:

Tabela II – Efeitos da radiação solar sobre o olho humano (adaptado de Vergaz, 2001)

Espectro	Tecido afetado	Local de absorção	Tipo de dano
UVC / UVB	Córnea	Epitélio	Fotoquímico: fotoqueratite e opacidades na córnea
UVB / UVA	Cristalino	Núcleo	Fotoquímico: Catarata
Visível	Retina	Epitélio pigmentário Hemoglobina Pigmento macular	Térmico: diminuição da visão Hemorragia intra-ocular Alterações na percepção de cores
IVA	Retina Cristalino	Epitélio pigmentário Epitélio	Térmico: diminuição da visão Catarata
IVB	Córnea	Epitélio	Opacidades
IVC	Córnea	Epitélio	Queimaduras superficiais

Na Tabela II o espectro está dividido em: UVC (< 290nm), UVB (290–315nm), UVA (315–400nm), Visível (400–750nm), IVA (750–1400nm), IVB (1400–3000nm) e IVC (3000–10000nm), onde UV: Ultravioleta e IV: Infravermelho. Quanto menor o comprimento de onda da radiação, maior o dano causado à estrutura ocular. Por esta razão, as radiações UV são mais nocivas do que a luz nos comprimentos de onda visível e IV. Um outro fator que diferencia os danos causados pela radiação UV é que sua percepção não é imediata. Enquanto a radiação IV se manifesta na forma de calor e a luz visível pode ser vista o UV não provoca nenhuma reação que desperte algum dos sentidos do ser humano.

Da mesma forma que a pele humana, os olhos podem ser mais ou menos sensíveis às radiações. De acordo com a cor, cuidados, idade e condições de saúde do indivíduo, essa sensibilidade tende a ser maior ou menor. Os tecidos que compõem o globo ocular possuem uma transparência média em relação à luz, e essa transparência é dependente do comprimento de onda.

A córnea absorve radiação de comprimento de onda de 300nm (UVB) e tem potencial a sofrer lesões por radiação de 220nm a 310nm, tendo como

conseqüência a ceratite. A pessoa apresenta sintomas de fotofobia, lacrimejamento, sensação de corpo estranho e dor ocular [2].

O cristalino desempenha um papel importante na proteção às radiações UV e, cirurgias que eliminam esse elemento da estrutura ocular, como a cirurgia de catarata, por exemplo, modificam bruscamente essa condição de proteção e a implantação de lentes protetoras faz-se necessária. Bebês e crianças correm maiores riscos de sofrerem danos oculares devido à maior transparência do cristalino. Nos adultos esse risco é minimizado, pois o cristalino tende naturalmente a se tornar mais opaco com a idade e, assim, absorver maior quantidade de radiação. As inflamações da córnea e da conjuntiva são seqüelas diretas da radiação UVB. Os sintomas de ambas enfermidades caracterizam-se por dor, lacrimação, sensação de corpo estranho, fotofobia e possível avermelhamento das pálpebras. As lesões nas pálpebras são as que têm demonstrado relação mais direta com a exposição à luz solar, principalmente na identificação de lesões malignas. A radiação UVA é apontada como responsável pelo desenvolvimento de cataratas. Os danos causados à vista, podem ser divididos em dois tipos distintos de acordo com a forma de exposição: curtas exposições a intensas quantidades de radiação e longas exposições a baixas intensidades de radiação. No primeiro caso o elemento que mais sofre é a córnea, as manifestações são agudas e surgem após um período de latência; no outro caso, mais comum nos ambientes de trabalho, o cristalino e a retina são os mais atingidos. Em ambos casos a manifestação pode se tornar um processo crônico, mesmo que seja decorrente de um processo agudo. Ainda que não haja uma determinação exata da susceptibilidade do olho à radiação, é certo que doses elevadas produzem fotoconjuntivite (inflamação da conjuntiva) e fotoqueratite (inflamação da córnea). Porém, exposições prolongadas, mesmo a baixas intensidades, podem também produzir cataratas, pterígio ou alguns tipos de carcinomas, que podem ser irreversíveis ou exigir uma intervenção cirúrgica. Como a R-UV não é necessária para a visão, não existem motivos para evitar métodos de atenuar a intensidade desse tipo de radiação e, conseqüentemente, proteger os olhos. A radiação solar chega aos olhos de forma direta e indireta (radiação difusa). Essa segunda forma é ainda mais importante no caso da R-UV, devido ao intenso espalhamento nessa região do espectro. Os filtros empregados na construção de óculos deveriam ser opacos aos comprimentos de onda menores que 400nm (UV) e maiores que 700nm (IV) (Vergaz, 2001). Porém, a maioria das lentes permite a passagem de certa

quantidade de radiação nesses comprimentos de onda. As lentes adequadas devem estar livres de imperfeições, eliminar mais de 99% da R-UV e entre 75 e 90% da radiação visível, evitando incômodo ocular e reflexões excessivas. De acordo com recomendações internacionais (EEC, 1989), os fabricantes devem indicar claramente o grau de proteção de cada lente. Os graus de proteção variam numa escala de 0 a 4.

A radiação da faixa UVA e parte da radiação UVB não é absorvida pela córnea, portanto é transmitida e causam lesões ao cristalino e à retina [3]. De um modo geral, o uso de lentes protetoras que filtram os raios ultravioletas auxiliam a prevenção de várias doenças oculares, como catarata, degeneração macular relacionada à idade e pterígio [2,3,4,5]. Pesquisas médicas não comprovaram diretamente, mas através de dados estatísticos que as doenças acima citadas estão relacionadas à exposição ocular indevida aos raios ultravioletas.

A Figura 4 ilustra como os raios de ultravioleta atingem a estrutura ocular.

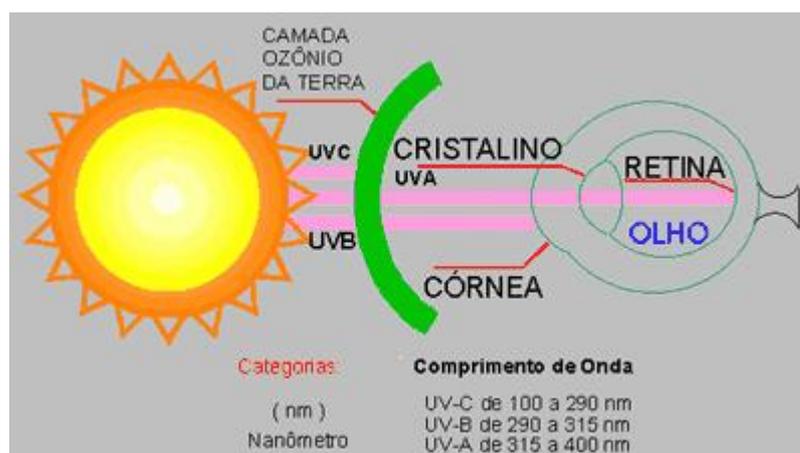


Figura 4 – Os raios UV e a estrutura ocular

O olho humano possui mecanismos de defesa naturais que são inibidos pela escuridão proporcionada pelas lentes. A pupila, que automaticamente se fecharia diante da luminosidade, mantém-se dilatada quando se faz uso de lentes escuras. A reação natural do ser humano de fechar os olhos é comprometida pela utilização dos óculos de sol. Portanto, se as lentes não protegem, os raios ultravioletas passam e afetam a retina mais severamente do que se não fosse usado nenhum tipo de lente.

As lentes de uso comum, de vidro ou acrílico, já filtram a radiação na faixa UVC e parte da radiação UVB. Mas para proteção efetiva, as lentes devem ser tratadas quimicamente para filtrar toda a radiação ultravioleta. Lentes tratadas para

este propósito geralmente recebem um selo de garantia de proteção UV do próprio fabricante. A Figura 5 ilustra a absorção e proteção aos raios UV.

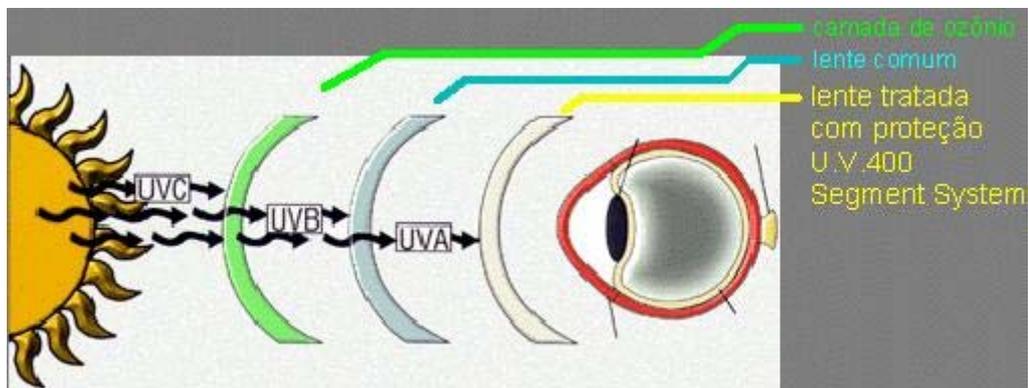


Figura 5 – O funcionamento da absorção e proteção aos raios UV.

Ainda não há um padrão de proteção aos raios ultravioletas para as lentes. Com a falta de um padrão, e com a grande quantidade de lentes sem proteção UV comercializadas, são necessários dispositivos para controle da proteção UV em locais de fácil acesso à população para garantir melhor saúde ocular.

1.4. O Sistema Ótico do Protótipo

O protótipo para medidas dos raios UVB (290nm – 315nm) e UVA (315nm – 400nm) consiste em uma fonte de luz UV, uma lente que será medida, um sensor de UV, um microcontrolador para o processamento eletrônico e um display.

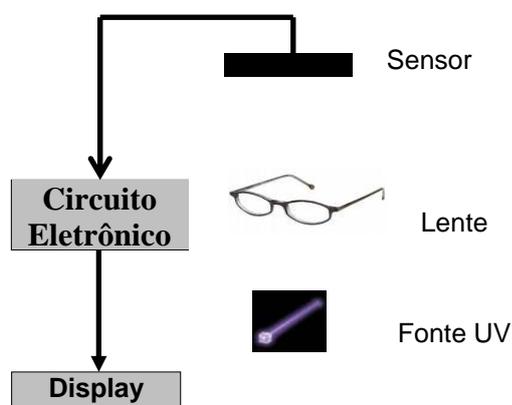


Figura 6 – Diagrama em blocos do sistema ótico

O objetivo do sistema é medir a proteção de uma lente que deve ser inserida no sistema pelo usuário. A representação de como a lente será inserida no sistema pode ser vista na

Figura 6. Esta deve ser posicionada entre a lâmpada e o sensor para evitar que a radiação de UV atinja o sensor quando a lente tiver 100% de proteção contra radiação ultravioleta. Assim, quando uma lente com 50% de proteção for inserida no sistema, incidirá no sensor apenas 50% de radiação UV em relação a um sistema sem lente alguma.

2. Materiais e Métodos

O objetivo principal do sistema eletrônico é controlar o acionamento das lâmpadas e o conversor analógico digital, fazer a leitura das medidas dos sensores, calibrar o sistema, calcular a porcentagem do sinal analógico recebido pelos sensores e mostrar em um *display* alfanumérico a porcentagem de proteção ultravioleta das regiões UV-A e UV-B. A interface com o usuário é feita através de um *display* e 3 botões (UV-A, UV-B e ESC).

O sistema tem como componente principal o microcontrolador AT89S52, que é programado em linguagem C e controlará todas as operações acima citadas.

O processo de medição passa pelas seguintes etapas:

1. Ao ligar o aparelho, o usuário recebe o aviso de calibração que é executado automaticamente sem a lente a ser testada;
2. Após a calibração o usuário deve posicionar a lente no local correto e escolher o teste de UVA ou UVB para a medição ser aferida.
3. Com os processos realizados o valor do nível de proteção da lente será exibido no *display* e o usuário poderá retornar ao *menu* anterior para escolher outro tipo de teste ou testar outra lâmpada.

A Figura 7 apresenta o diagrama em blocos do medidor de ultravioleta.

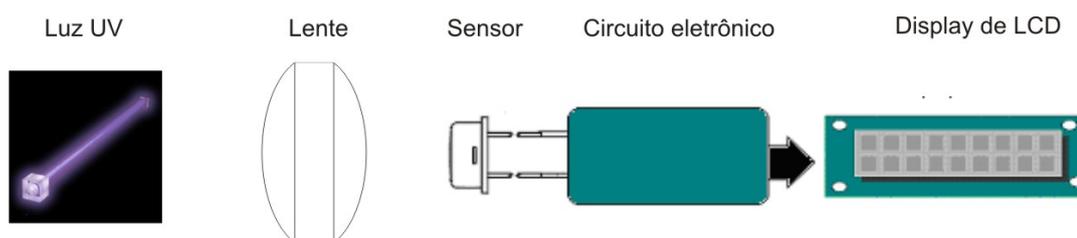


Figura 7 – Diagrama em blocos do sistema

2.1. Hardware

O *hardware* pode ser dividido em 5 blocos funcionais, que são eles:

1. Fonte
2. Microcontrolador
3. Controle das lâmpadas BLB
4. Aquisição e amplificação do sinal
5. Interface com usuário

A parte referente à aquisição e amplificação do sinal foi feita pela aluna Vanessa Cristina Ferreira e pode ser encontrado na monografia “Instrumentação Analógica de Dispositivo para Medida de Proteção UVA e UVB em óculos e lentes”, julho de 2007.

2.1.1. Microcontrolador

O microcontrolador utilizado no projeto é o AT89S52 da Atmel. O AT89S52 é um microcontrolador de baixíssimo consumo de potência, CMOS de alto desempenho, com 8 Kbytes de memória *flash* programável. O dispositivo é fabricado utilizando tecnologia de alta densidade e é compatível com o conjunto de instruções e pinagem do 89C51, de acordo com o *datasheet* do fabricante. A memória *flash on-chip* permite programar a memória de programa *in-circuit* ou por um programador de memória convencional.

O 89S52 tem como principais características:

- 8k bytes de memória flash;
- 256 bytes de RAM;
- 32 portas de I/O;
- 3 timers / contadores de 16 bits;
- porta serial full duplex.

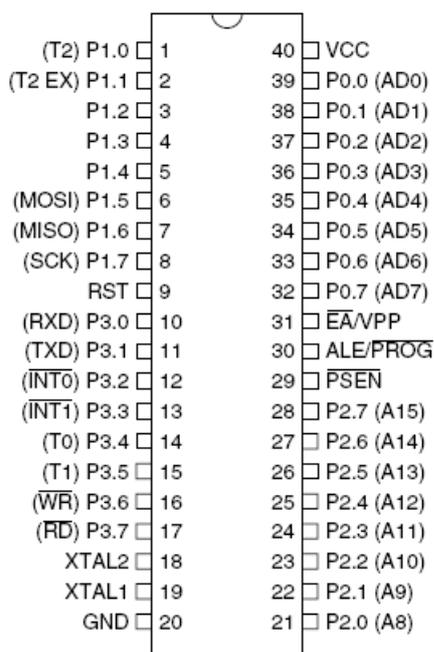


Figura 8 – Pinagem do microcontrolador

As conexões com as portas de I/O do microcontrolador foram feitas de modo a deixar a porta apenas como entrada ou apenas como saída, para evitar erros ou conflitos. Deste modo, as portas P0, P2 e P3 estão apenas como saídas, enquanto que P1 está apenas como entrada.

Existem outros microcontroladores comerciais da família PIC que podem ser utilizados no projeto, porém o utilizado é o mais fácil de ser encontrado comercialmente e é o que apresenta melhor custo benefício em relação aos concorrentes.

2.1.2. LCD

O LCD é um dispositivo de saída utilizado nesse projeto para exibir ao usuário o resultado da medição UV da lente e os menus de navegação. O LCD utilizado é o JHD 162 A, que segue o padrão HD44780 e está mostrado na Figura 9.



Figura 9 – Foto do LCD utilizado

O HD44780 possui dois registradores de oito bits, um registrador de instrução (IR) e um registrador de dados (DR). O registrador de instrução é responsável pelas operações de configuração, rolagem de tela, posicionamento do cursor, entre outras. O registrador de dados contém o dado que deve ser escrito no LCD.

O padrão HD44780 requer três linhas de controle e também quatro ou oito linhas de I/O para o bus de dados. No caso do projeto foram utilizadas oito linhas de I/O para o bus de dados. Quando o *display* LCD não está habilitado, as linhas de dados *tristate* assumem o estado de alta impedância (como se estivessem desligadas do circuito), de modo que não interferem com o funcionamento do microcontrolador.

O LCD baseado no controlador Hitachi HD44780 ou equivalente possui a seguinte pinagem e sugestão de ligação mostradas na Figura 10.

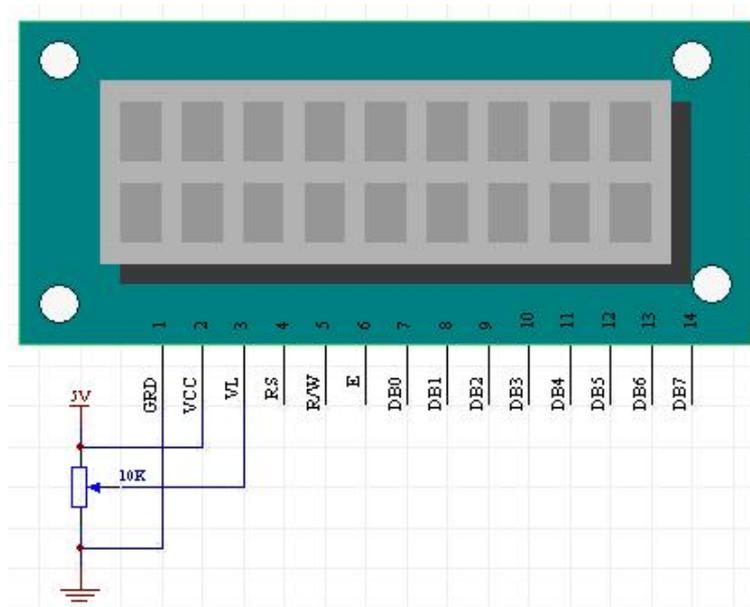


Figura 10 – Pinagem do LCD

As funções de cada pino estão descritas na Tabela III:

Tabela III - Funções de cada pino do LCD JHD 162 A

Pino	Função
1	Terra
2	Alimentação positiva (Vcc)
3	Tensão de contraste
4	Seleção de registrador
5	Leitura ou Escrita
6	Habilita/Desabilita
7 ao 14	Barramento de dados bidirecional

A linha *Enable* (E) permite a ativação do *display* e a utilização das linhas R/W e RS. Quando a linha de “habilitar” (*Enable*) está em nível baixo, o LCD fica inibido e ignora os sinais R/W e RS. Quando (E) está em nível alto, o LCD verifica os estados das duas linhas de controle e responde de acordo com estes.

A linha Read/Write (R/W) determina o sentido dos dados entre o microcontrolador e o LCD. Quando está em nível baixo, os dados serão escritos no LCD. Quando está em nível alto, os dados serão lidos do LCD.

Com a ajuda da linha de *Register Select* (RS), o LCD interpreta o tipo de dados presentes nas linhas de dados. Quando está em nível baixo, uma instrução será escrita no LCD. Quando está em nível alto, será escrito um caractere no LCD.

A Tabela IV apresenta o estado lógico nas linhas de controle

Tabela IV - Estado lógico nas linhas de controle do LCD

Linha de Controle	Nível Lógico	Estado
E	0	Acesso ao LCD desabilitado
	1	Acesso ao LCD habilitado
R/W	0	Escrever dados no LCD
	1	Ler dados do LCD
RS	0	Instruções
	1	Caracteres

A escrita dos dados no LCD é feita em várias etapas:

1. Designar o *bit R/W* em nível baixo
2. Designar o *bit RS* em nível lógico 0 (instrução) ou em nível lógico 1 (caractere)
3. Colocar o dado na linha de dados (se for uma operação de escrita)
4. Designar a linha E em nível alto
5. Designar a linha E em nível baixo
6. Ler o dado das linhas de dados (no caso de uma operação de leitura)

2.1.3. Controle da Lâmpada BLB

O controle da lâmpada BLB é feito por um relê comum. Como mostra a Figura 12, o relê (símbolo K1) tem 5 terminais. Inicialmente, os terminais 3 e 5 do relê estão curto-circuitados. Ao aplicar uma tensão de 5V nos terminais 1 e 2, o relê comutará a chave e os terminais 3 e 4 estarão conectados.

Para chavear a tensão de 5V no comando do relê, há o transistor Q1. Se o sinal de LAMP estiver em nível lógico "0", o transistor não conduzirá e o relê estará com 0V. Se o sinal de LAMP estiver em 1, o relê também estará em 1 com o

chaveamento do transistor. O microcontrolador controla via *software* a variável LAMP.

Finalmente, o conector JP2 é ligado em série com um fio de alimentação da lâmpada (de preferência a fase). Deste modo, o relê controla se a lâmpada está ligada ou desligada.

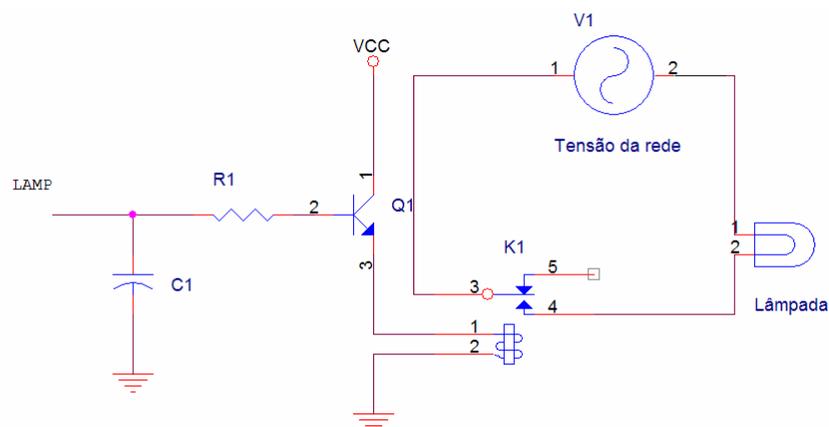


Figura 11 – Esquemático do acionamento da lâmpada BLB

2.1.4. Conversor Analógico Digital (AD)

O AD utilizado na aplicação é o ADC0808 da *National Semiconductor*. É um AD de 8 bits de resolução com fonte de alimentação simples, tempo de conversão de 100 μ s e consumo de apenas 15 mW de potência. Além disso, não necessita de ajuste de zero ou de fundo de escala para as conversões, sendo um AD de oito canais multiplexados com endereçamento lógico.

A Figura 12 mostra a pinagem do AD utilizado.

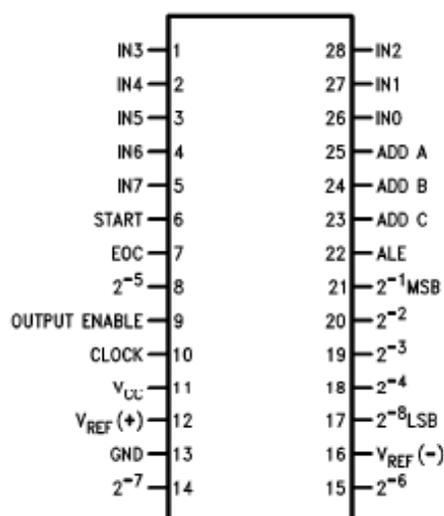


Figura 12 – Pinagem do conversor ADC0808.

A Tabela V apresenta a pinagem e a função de cada um dos pinos do integrado.

Tabela V - Pinagem e funções do ADC0808.

Pino	Nome	Função
01	IN3	Entrada analógica #3.
02	IN4	Entrada analógica #4.
03	IN5	Entrada analógica #5.
04	IN6	Entrada analógica #6.
05	IN7	Entrada analógica #7.
06	Start	Início da conversão.
07	EOC	End of conversion. O pino vai para nível lógico zero depois do pulso de Start, fica assim durante toda a conversão e volta para nível alto após a conversão.
08	DB3	Saída de dados #3.
09	OE	Output Enable. Quando OE=0, DB0-DB7 estão em alta impedância; OE=1, DB0-DB7 são saídas ativas.
10	CLK	Entrada do sinal de clock para o AD.
11	V _{cc}	Alimentação positiva.
12	+ V _{ref}	Tensão de referência positiva.
13	GND	Terra. Todas as entradas e saídas analógicas e digitais são referentes a esse nível de tensão.

Pino	Nome	Função
14	DB1	Saída de dados #1.
15	DB2	Saída de dados #2.
16	- V_{ref}	Tensão de referência negativa.
17	DB0	Saída de dados #0.
18	DB4	Saída de dados #4.
19	DB5	Saída de dados #5.
20	DB6	Saída de dados #6.
21	DB7	Saída de dados #7.
22	ALE	Address Latch Enable. Quando é aplicado um pulso nesse pino, são lidos os níveis de tensão em ADDR0-2 e selecionada a entrada (IN1-7) para conversão.
23	ADDR0	Endereço de entrada para o multiplexador. Sinal para seleção da entrada analógica.
24	ADDR1	Endereço de entrada para o multiplexador. Sinal para seleção da entrada analógica.
25	ADDR2	Endereço de entrada para o multiplexador. Sinal para seleção da entrada analógica.
26	IN0	Entrada analógica #0.
27	IN1	Entrada analógica #1.
28	IN2	Entrada analógica #2.

A entrada do sinal analógico a ser convertido para digital deve ser aplicada em um dos pinos de entrada identificados por IN x , em que x é o número da entrada que será utilizada. Apesar de a entrada poder ser aplicada em 8 pinos diferentes, a saída sempre será vista nos pinos com indicação 2^{-y} , onde y é o nível do *bit* em relação ao fundo de escala. O *bit* em que $y=1$ corresponde ao *bit* mais significativo (MSB) e o bit em que $y=8$ corresponde ao bit menos significativo da conversão (LSB). Para identificar qual entrada está sendo utilizada, devem-se utilizar os pinos de endereçamento ADD A, ADD B e ADD C, de acordo com a Tabela VI.

Tabela VI - Seleção de entradas do ADC0808

Entrada Selecionada	ADD		
	C	B	A
IN 0	0	0	0
IN 1	0	0	1
IN 2	0	1	0
IN 3	0	1	1
IN 4	1	0	0
IN 5	1	0	1
IN 6	1	1	0
IN 7	1	1	1

Após selecionar a entrada através dos pinos de endereçamento é preciso dar um pulso no pino ALE (*Address Latch Enable*), para que o microcontrolador faça a leitura dos pinos ADD A, ADD B e ADD C e “saiba” a partir de qual entrada a conversão deve ser feita. Após isso a conversão iniciará com um pulso no pino de START a partir da entrada que foi selecionada nos pinos acima no momento do pulso em ALE. Durante a conversão o pino EOC estará em nível baixo. Ao término desta, o pino EOC assumirá o valor digital “1”, e o resultado será obtido digitalmente nos pinos de saída.

O diagrama de tempos do conversor pode ser visto na Figura 13.

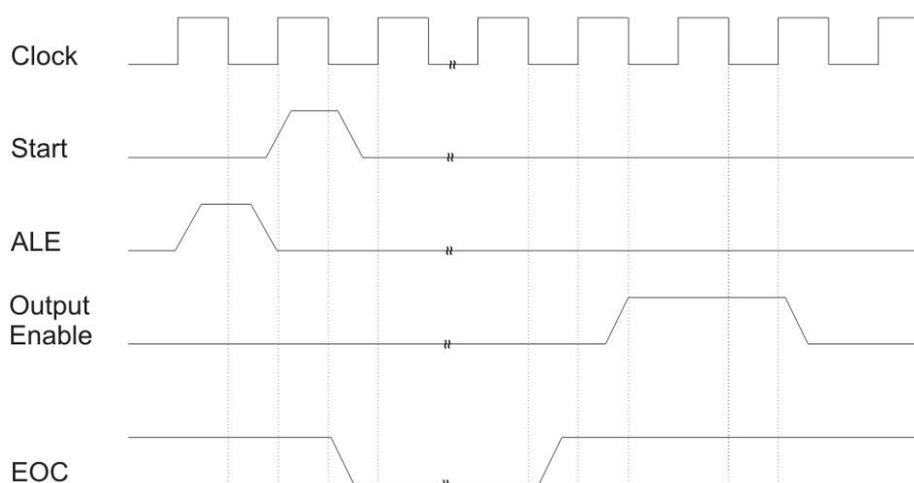


Figura 13 – Diagrama de tempos do conversor A/D

Na Figura 14 e na Tabela VII pode-se notar a linearidade do conversor AD e o baixo erro na tensão de saída. Os dados da tabela foram medidos colocando na entrada do AD um sinal analógico proveniente de uma fonte comercial da marca Minipa, modelo MPC-303Di e coletando na saída do conversor o sinal digital. Após fazer a leitura do sinal digital, este foi convertido para analógico novamente através da seguinte fórmula:

$$V_{analógico} = (2^{-8} + 2^{-7} + 2^{-6} + 2^{-5} + 2^{-4} + 2^{-3} + 2^{-2} + 2^{-1}) \times V_f, \text{ em que } V_f \text{ é o}$$

valor de fundo de escala do conversor AD. Este valor de fundo de escala é a tensão aplicada no pino V_{ref+} quando V_{ref-} é aterrado.

Os coeficientes 2^{-y} da fórmula acima devem ser computados somente quando o bit no conversor AD correspondente à saída y estiver em nível alto, ou seja, cinco volts.

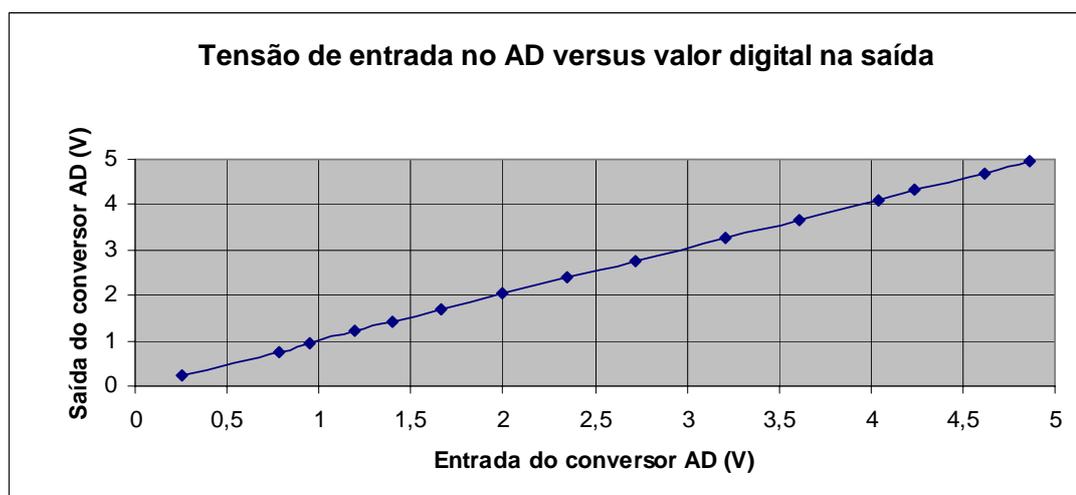


Figura 14 – Tensão de entrada versus valor digital na saída do conversor AD

Tabela VII - Erros de conversão do AD

Entrada AD (V)	Saída AD (V)	Erro
0,25	0,234375	6,25%
0,78	0,76171875	2,34%
0,95	0,95703125	0,74%
1,19	1,2109375	1,76%
1,4	1,42578125	1,84%
1,66	1,6796875	1,19%
2	2,03125	1,56%
2,35	2,3828125	1,40%
2,72	2,75390625	1,25%
3,21	3,26171875	1,61%
3,61	3,671875	1,71%
4,04	4,1015625	1,52%
4,24	4,31640625	1,80%
4,62	4,6875	1,46%
4,86	4,94140625	1,68%

Os erros calculados na Tabela VII são aparentemente altos, pois estes foram calculados em relação ao valor aplicado na entrada do AD. No caso de maior erro relativo, o erro absoluto de conversão do AD é de apenas 15,625 mV (0,25V – 0,234375V).

2.1.5. Interface com usuário

A interface entre o menu e o usuário é feita através de um de um *display* de LCD como explicado anteriormente.

Ao ligar o equipamento o *display* exibirá ao usuário as mensagens “Inicializando...”, “Calibrando UVA” e “Calibrando UVB”. A mensagem “Inicializando...” pode ser vista na Figura 15 e a mensagem de calibração de UVA na Figura 16.



Figura 15 – Display com a mensagem “Inicializando...”



Figura 16 – Display com a mensagem “Calibrando UVA”

Quando a fase de calibração estiver finalizada, o *software* aguardará um comando do usuário para selecionar o tipo de medição (UVA ou UVB). Para isso o display exibirá uma mensagem, como mostrado na Figura 17.



Figura 17 – Display exibindo a seleção de teste

Após a seleção do teste e antes do valor em porcentagem exibido no display a mensagem “Calculando...” será exibida.

A interface com o usuário é realizada através de três chaves (*switches*), que no software são entendidas como : botões UVA, UVB e ESC. A Figura 18, a Figura 19 e a Figura 20 mostram parte do circuito digital e parte do circuito analógico utilizado na simulação do protótipo. A seta na Figura 18 mostra as três chaves.

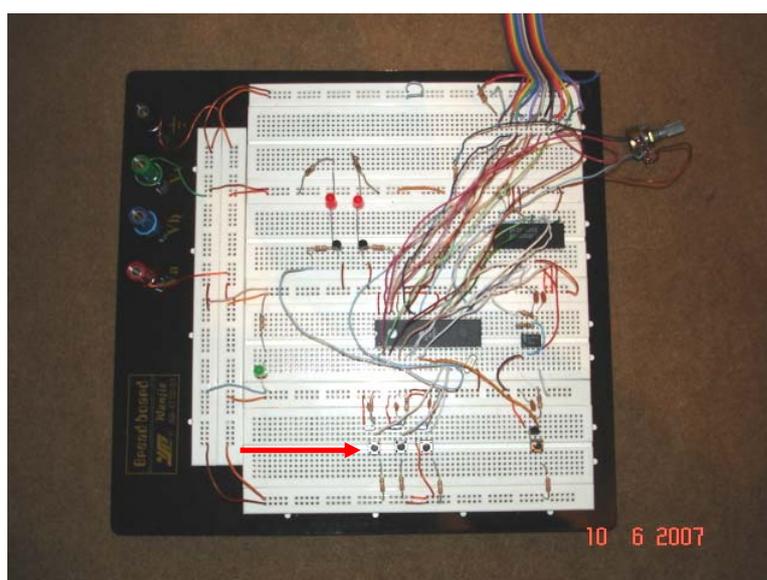


Figura 18 – Parte do circuito digital utilizado na simulação

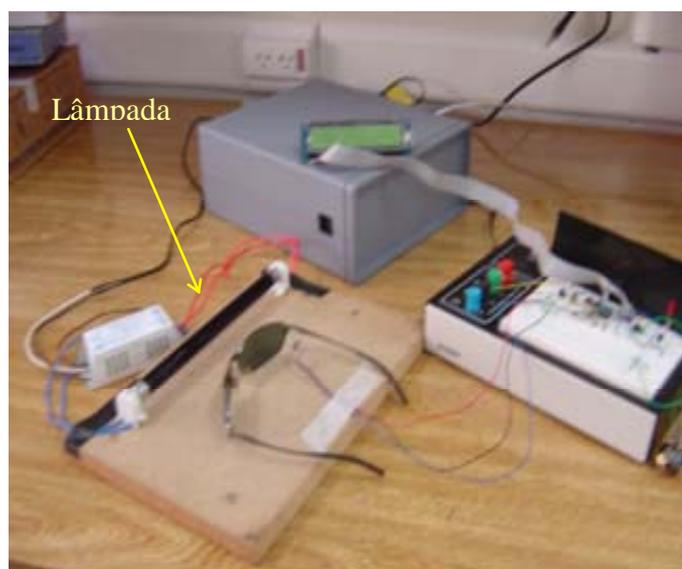


Figura 19 – Caixa funcional, sistema eletrônico e lâmpada BLB

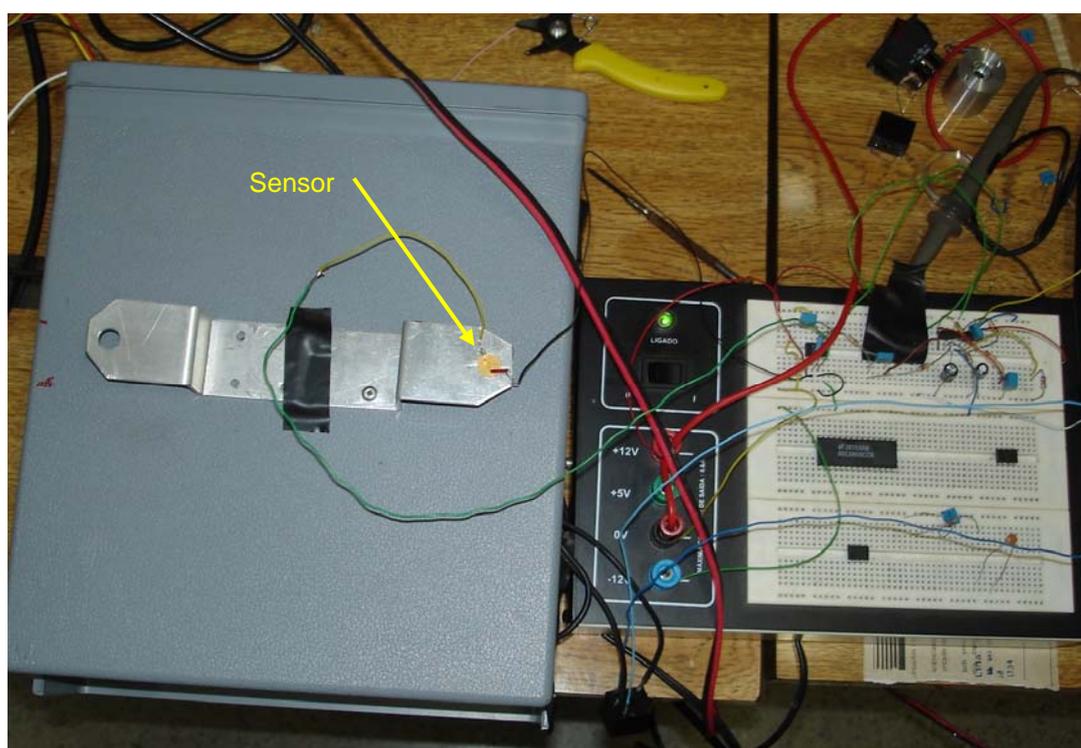
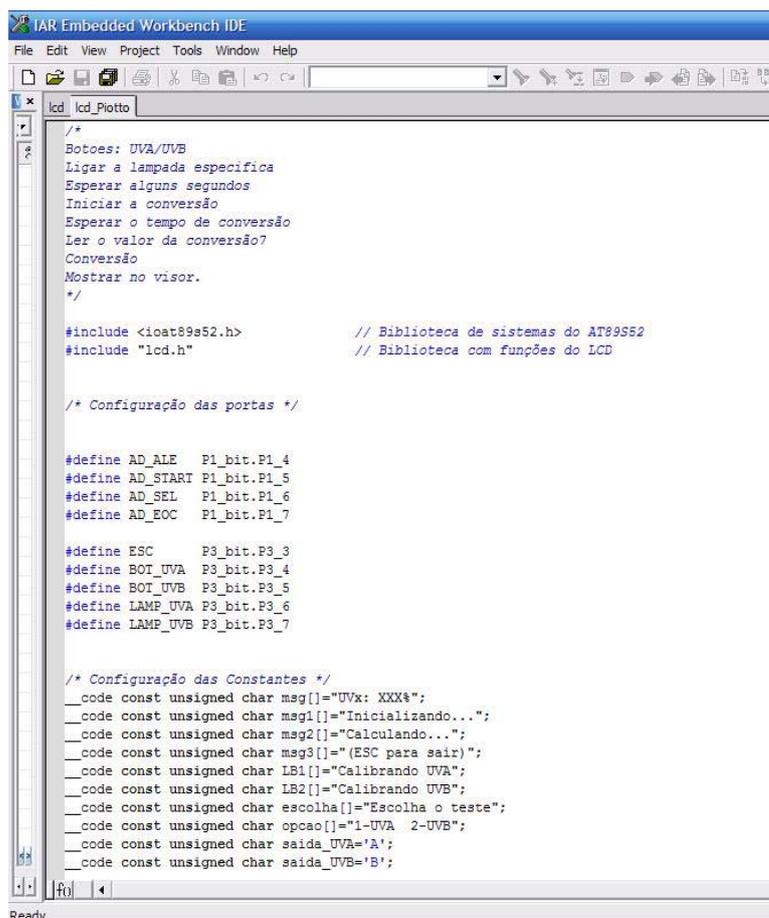


Figura 20 – Caixa funcional com representação do sensor e circuito analógico

2.2. Software

A programação do 89S52 foi feita em linguagem C através da interface IAR mostrada na Figura 21. Através do *software* é possível compilar o programa e gerar o arquivo “.hex”, que é necessário para a gravação do microcontrolador.



```

IAR Embedded Workbench IDE
File Edit View Project Tools Window Help

lcd | lcd_Plotto

/*
Botoes: UVA/UVB
Ligar a lampada especifica
Esperar alguns segundos
Iniciar a conversão
Esperar o tempo de conversão
Ler o valor da conversão?
Conversão
Mostrar no visor.
*/

#include <ioat89s52.h>           // Biblioteca de sistemas do AT89S52
#include "lcd.h"                // Biblioteca com funções do LCD

/* Configuração das portas */

#define AD_ALE   P1_bit.P1_4
#define AD_START P1_bit.P1_5
#define AD_SEL   P1_bit.P1_6
#define AD_EOC   P1_bit.P1_7

#define ESC      P3_bit.P3_3
#define BOT_UVA  P3_bit.P3_4
#define BOT_UVB  P3_bit.P3_5
#define LAMP_UVA P3_bit.P3_6
#define LAMP_UVB P3_bit.P3_7

/* Configuração das Constantes */
_code const unsigned char msg1[]="UVx: XXX%";
_code const unsigned char msg2[]="Calculando...";
_code const unsigned char msg3[]="(ESC para sair)";
_code const unsigned char LB1[]="Calibrando UVA";
_code const unsigned char LB2[]="Calibrando UVB";
_code const unsigned char escolha[]="Escolha o teste";
_code const unsigned char opcao[]="1-UVA 2-UVB";
_code const unsigned char saida_UVA='A';
_code const unsigned char saida_UVB='B';

```

Figura 21 – Interface de programação IAR

O *software* pode ser dividido em 04 blocos básicos:

1. Biblioteca de escrita no LCD
2. Controle de acionamento das lâmpadas
3. Aquisição do sinal do AD
4. Processamento da leitura do AD para impressão no *display* LCD

2.2.1. Controle do Display

Para facilitar o uso do *display* de LCD foi escrita uma biblioteca em C exclusivamente para tal fim. Isso faz com que o programa principal torne-se mais enxuto e modularizado.

Segue abaixo a biblioteca criada para a utilização do LCD comentada detalhadamente. A biblioteca abaixo pode ser utilizada também para *displays* com quatro linhas.

```

void init_lcd()                // Rotina de inicializacao e configuracao do LCD
{
    wait(20);
    lcd_cmd(0x30);             // Liga o LCD: Primeiro passo
    wait(60);
    lcd_cmd(0x30);             // Liga o LCD: Segundo passo
    wait(100);
    lcd_cmd(0x38);             // Liga o LCD: Terceiro passo
    wait(100);
    lcd_cmd(0x3C);             // Liga o LCD: Coloca em modo 8 bits
    wait_lcd();
    lcd_cmd(0x08);             // Desliga o LCD
    wait_lcd();
    lcd_cmd(0x01);             // Limpa LCD
    wait_lcd();
    lcd_cmd(0x0C);             // Liga o LCD
    wait_lcd();
    lcd_cmd(0x06);             // Sentido de deslocamento para a direita
    wait_lcd();
    return;
}

void clear_lcd()               // Rotina para limpar o LCD
{
    lcd_cmd(0x01);
    wait_lcd();
    return;
}

```

```

}
void lcd_char(unsigned char c) // Escreve um caracter no LCD
{
    EN=1;
    RS=1;
    LCDDATA=c;           // Escreve o caracter no Port P0
    EN=0;
    wait_lcd();
    return;
}

void lcd_string(unsigned char const __code *string) // Escreve uma string no LCD
{
    while(*string!='\0')
        lcd_char(*string++);
    return;
}

void lcd_xy(unsigned char x,unsigned char y) // Posicionamento XY do LCD
{
    unsigned char addr=x;
    if(y==1 || y==2)
    {
        if(y==1) addr+=128; // Posiciona o cursor na primeira linha do LCD
        else addr+=192; // Posiciona o cursor na segunda linha do LCD
    }
    else
    {
        if(y==3) addr+=144; // Posiciona o cursor na terceira linha do LCD
        else addr+=208; // Posiciona o cursor na quarta linha do LCD
    }
    lcd_cmd(addr);
    wait_lcd();
    return;
}
}

```

2.2.2. Controle do Conversor A/D

Para realizar o controle do conversor AD deve-se atentar ao diagrama de tempos do conversor AD exibido na Figura 13.

A função abaixo seleciona a entrada analógica que se deseja converter para digital (pulso no pino ALE), inicia-se a conversão (pulso no pino START), espera o fim da conversão (pino EOC) e armazena o resultado em uma variável (AD_RESP).

```

unsigned char AD(unsigned char UV)
{
    AD_ALE=0;           // Coloca o pino em nível baixo
    wait(10);          // Função de espera
    AD_SEL=UV;         // Seleciona no pino SEL do AD qual lâmpada foi selecionada UVA (UV=0)
                                                                // ou UVB (UV=1)

    wait(2);           // Função de espera
    AD_ALE=1;          // Coloca o pino em nível alto
    wait(10);          // Função de espera
    AD_ALE=0;          // Coloca o pino em nível baixo
    wait(2);           // Função de espera
    AD_START=1;        // Coloca o pino em nível alto
    wait(10);          // Função de espera
    AD_START=0;        // Coloca o pino em nível baixo
    while (!AD_EOC);   // Espera o fim da conversão monitorando o AD_EOC
    AD_RESP=P2;         // Lê a porta P2 e armazena o resultado em AD_RESP
    return AD_RESP;    // Retorna AD_RESP como resultado da função
}

```

2.2.3. Sub-rotinas adicionais utilizadas

As sub-rotinas utilizadas no *software* estão comentadas em azul dentro do programa e explicadas individualmente para um melhor entendimento.

As sub-rotinas realizam as seguintes etapas:

1. Subrotina Executa:
 - a. Faz a leitura de qual botão foi pressionado, o de UVA ou o UVB;

- b. Limpa o LCD;
- c. Escreve a msg "Calculando..." no display;
- d. Acende a lâmpada de UVA ou de UVB de acordo com o botão pressionado;
- e. Delay de 4 segundos;
- f. Chama a subrotina AD para o conversor iniciar a conversão e armazena o resultado na variável val;
- g. Desliga as duas lâmpadas.

2. Subrotina para Cálculos de ajuste:

- a. Multiplica o valor lido do AD por 100 devido a problemas de arredondamento, pois apesar do microcontrolador ser programado em C, este não leva em consideração casas depois da vírgula nos cálculos;
- b. Divide o valor adquirido quando o botão para calcular foi apertado pelo valor de fundo de escala adquirido quando o equipamento foi iniciado sem lente alguma. A partir disso trabalha-se com um valor normalizado, facilitando assim a impressão em porcentagem do valor de proteção da lente;
- c. Calcula-se o valor da centena dividindo o valor normalizado por 100. Esse valor pode ser zero ou um. Será um quando a lente não tiver proteção e deixar passar 100% dos raios de UV e será zero quando ela possuir algum tipo de filtro.
- d. O valor da dezena é calculado fazendo a divisão do valor normalizado por 10. Como o microcontrolador não considera as casas depois da vírgula, realizando-se a subtração de dez vezes o valor da centena, tem-se o valor da dezena.
- e. O valor a unidade é calculado com o valor total menos 100 vezes o valor da centena, menos 10 vezes o valor da dezena. Com isso, tem-se o valor porcentual para ser enviado ao LCD.
- f. Corrige os valores para o número correspondente na tabela ASCII para serem impressos no LCD.

Exemplo de cálculos de ajuste:

Valor de fundo de escala: 5

Valor lido pelo AD após a inserção da lente: 2,1

Resultado da multiplicação por 100:

$$2,1 \times 100 = 210$$

Normalização:

$$\frac{210}{5} = 42$$

Cálculo da centena da porcentagem sem considerar casas decimais:

$$\frac{42}{100} = 0$$

Cálculo da dezena da porcentagem sem considerar casas decimais:

$$\frac{42}{10} - 10 \times 0 = 4$$

Cálculo da unidade da porcentagem sem considerar casas decimais:

$$42 - (100 \times 0 + 10 \times 4) = 2$$

Portanto, quando o microcontrolador exibir no LCD o resultado da conversão, esta será 42%, que é o valor correto de acordo com os valores citados no exemplo.

3. Subrotina para Apresentação do resultado no LCD:

- a. Escreve no LCD a máscara UVx: XXX% para ser substituída posteriormente pelos valores. Essa fase é executada tão rapidamente que não é perceptível ao usuário os valores XXX.
- b. Posicionamento do cursor no display de LCD para impressão do tipo de UV (A ou B). Nessa etapa o UVx será substituído por UVA ou UVB.
- c. Posicionamento do cursor no display de LCD para impressão dos dígitos da centena, dezena e unidade no display. Nessa etapa o XXX% será substituído pelo valor correto da porcentagem.

4. Subrotina com Procedimento para sair da rotina Executa

- a. Posiciona o cursor na segunda linha;
- b. Escreve a mensagem: “Pressione ESC para sair”;
- c. Loop para ficar aguardando o usuário apertar o botão ESC;
- d. Quando o usuário apertar o botão ESC, o microcontrolador limpará o display de LCD e escreverá as instruções para o usuário escolher o tipo de teste que deseja fazer na próxima medição.

Linhas de comando do software com comentários:

```

void Executa(unsigned char UV)    // Executa o teste para UVA (UV=0) ou teste para UVB
(UV=1)
{
    unsigned int val;
    unsigned char valC, valD, valU;
    clear_lcd();                // Limpa o LCD
    lcd_xy(0,1);
    lcd_string(msg2);           // Escreve msg2 -> Calculando...
    if (!UV) LAMP_UVA=1;        // Acender a lâmpada do UVA se UV=0
    else LAMP_UVB=1;            // Acende a lâmpada do UVB se UV=1
    DelayS(4);

    val=AD(UV);                 // Valor adquirido no teste
    LAMP_UVA=0;                 // Desliga a lâmpada do UVA
    LAMP_UVB=0;                 // Desliga a lâmpada do UVB

    /***** Cálculos de ajuste *****/
    val=val*100;                // Início da transformação para porcentagem
    if (UV) val=val/val_calibrB; // Normalização a partir da calibração de UVB (UV=1)
    else val=val/val_calibrA;    // Normalização a partir da calibração de UVA (UV=0)
    valC=val/100;               // Valor da centena
    valD=(val/10)-10*valC;       // Valor da dezena
    valU=val-((100*valC)+(10*valD)); // Valor da unidade
    valC+=48;                   // Correção para a tabela ASCII
    valD+=48;                   // Correção para a tabela ASCII
    valU+=48;                   // Correção para a tabela ASCII

    /* Apresentação do resultado no LCD */
    clear_lcd();                // Limpa o LCD
    lcd_string(msg);            // Escreve MSG-> UVx: XXX%

```

```

lcd_xy(2,1); // Posiciona o cursor
if (UV) lcd_char(saida_UVB); // Se for teste de UVB (UV=1)
else lcd_char(saida_UVA); // Se for teste de UVA (UV=0)
lcd_xy(5,1); // Posiciona o cursor
lcd_char(valC); // Escreve o digito da centena
lcd_char(valD); // Escreve o digito da dezena
lcd_char(valU); // Escreve o digito da unidade

/*Procedimento para sair da rotina Executa*/
lcd_xy(0,2); // Posiciona na segunda linha
lcd_string(msg3); // Escreve msg3 -> "[ESC para sair]"
while(!ESC); // Aguarda teclar o botao ESC para sair
clear_lcd();
lcd_xy(0,1);
lcd_string(escolha); // Escreve escolha -> "Escolha o teste"
lcd_xy(0,2);
lcd_string(opcao); // Escreve opcao -> "1-UVA 2-UVB"

```

2.2.4. Programa principal

O programa principal está comentado em azul e faz menção às subrotinas explicadas anteriormente.

Basicamente consiste em:

1. Zerar todas as variáveis do sistema;
2. Inicializar o LCD;
3. Ligar as lâmpadas de UV por 10 segundos para aquecimento;
4. Faz a leitura do AD para as lâmpadas de UVA e UVB sem lente posicionada e assume esse valor como fundo de escala;
5. Escreve as mensagens para o usuário selecionar o tipo de medida a ser selecionada;
6. Loop para detectar qual botão foi pressionado.

```

void main(void)
{
/* Parâmetros Iniciais – Zerar todas variáveis*/
AD_ALE=0;

```

```

AD_START=0;
AD_SEL=0;
IE=0;           //desabilita interrupção

/* Inicialização do LCD */
init_lcd();
clear_lcd();
lcd_xy(0,1);
lcd_string(msg1);           // Escreve msg1 -> " Inicializando... "

/* Inicialização da Lâmpada */
LAMP_UVA=1;           // Liga a lâmpada de UVA
LAMP_UVB=1;           // Liga a lâmpada de UVB
DelayS(10);           // Aguarda um tempo para esquentar
LAMP_UVA=0;           // Desliga a lâmpada de UVA
LAMP_UVB=0;           // Desliga a lâmpada de UVB

/* Calibração Lâmpada UVA */
DelayS(1);
clear_lcd();
lcd_xy(0,1);
lcd_string(LB1);           // Escreve LB1 -> " Calibrando UVA"
wait(150);
LAMP_UVA=1;           // Liga a lâmpada de UVA
DelayS(3);
val_calibrA=AD(0);           // Recebe o valor do AD para ajuste de calibração de UVA
(fundo de escala)
LAMP_UVA=0;           // Desliga a lâmpada de UVA

/* Calibração Lâmpada UVB */
DelayS(1);
clear_lcd();
lcd_xy(0,1);
lcd_string(LB2);           // Escreve LB1 -> " Calibrando UVB "
wait(150);
LAMP_UVB=1;           // Liga a lâmpada de UVB
DelayS(3);
val_calibrB=AD(1);           // Recebe o valor do AD para ajuste de calibração UVB
(fundo de escala)

```

```
LAMP_UVB=0;           // Desliga a lâmpada de UVB
clear_lcd();
lcd_xy(0,1);          // Posiciona o cursor na primeira linha do LCD
lcd_string(escolha); // Escreve escolha -> "Escolha o teste"
lcd_xy(0,2);          // Posiciona o cursor na segunda linha do LCD
lcd_string(opcao);    // Escreve opção -> "1-UVA 2-UVB"

/* Laço para leitura dos botões de seleção */
while(1)
{
    if (!BOT_UVA && BOT_UVB) Executa(1); // Seleciona modo para teste de UVB
    if(BOT_UVA && !BOT_UVB) Executa(0); // Seleciona modo para teste de UVA
}
}
```

3. Resultados

Segundo dados do fabricante o sensor tem um comportamento linear na relação da variação da intensidade de luz com a variação de tensão de saída.

A parte analógica e digital foram realizadas baseadas nesta linearidade. Através de testes em bancada de laboratório, verificou-se que sem amostra, ou seja, com a intensidade total de luz atingindo o sensor, este apresenta uma tensão de saída de aproximadamente 5 V e com obstrução total da luz no sensor, apresenta tensão nula.

Foram realizados alguns testes com o auxílio de potenciômetros para simular na entrada do AD o valor analógico modulado pelas lentes com proteção UV. Os resultados podem ser vistos no gráfico da Figura 22:

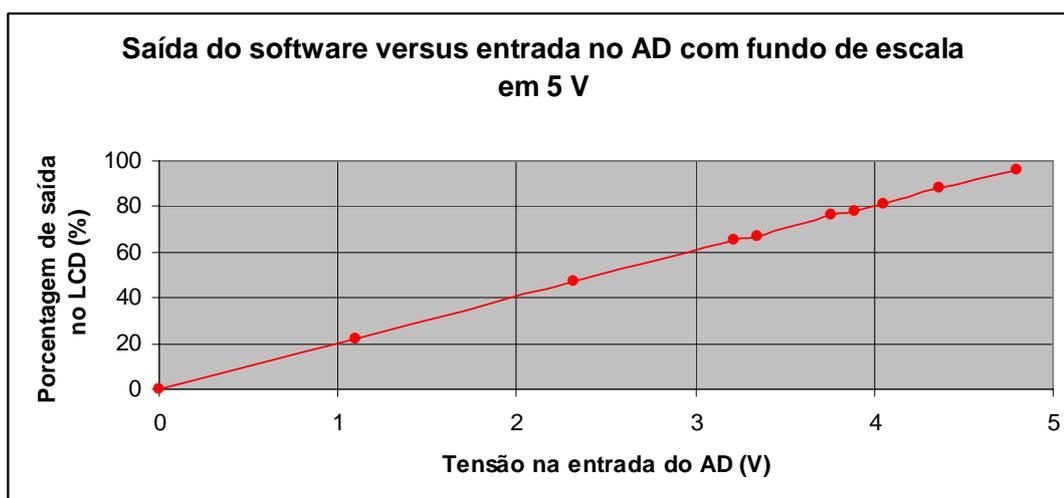


Figura 22 – Saída do *software* versus entrada no AD

Em uma fase posterior do projeto, o equipamento deverá ser comparado com um espectrofotômetro e realizadas as adaptações necessárias via *software* para ser utilizado comercialmente.

3.1. Calibração do sistema

O equipamento está projetado para que tenha um tempo para estabilização da lâmpada de UV de 1 minuto que é um tempo adequado para esse tipo de fonte de luz. A Figura 23 mostra o sinal capturado no osciloscópio em bancada depois de amplificado. Pode-se verificar o tempo de estabilização de aproximadamente um minuto.

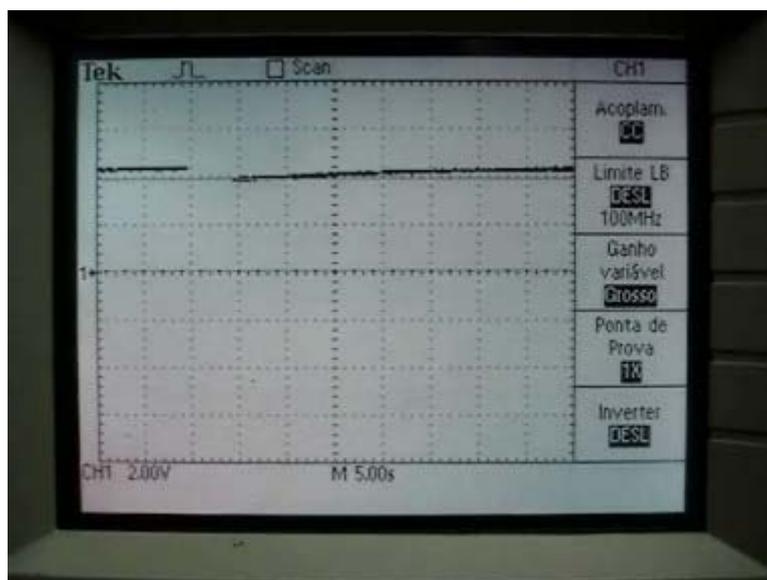


Figura 23 – Tempo de estabilização da lâmpada

A calibração do sistema é realizada no instante em que o equipamento é ligado. Nesse momento, o microcontrolador aciona as duas lâmpadas por um minuto apenas para aquecimento e após isso, liga a fonte de UV separadamente, faz a leitura do AD sem nenhuma lente inserida no circuito, e armazena o resultado como fundo de escala para calibração.

Como o fotodiodo é linear até a saturação, a porcentagem de proteção da lente é feita através de uma divisão entre o valor de fundo de escala armazenado sem a amostra e o valor lido após a inserção da amostra no sistema ótico.

A figura 24 mostra o esquemático do circuito concluído. Os capacitores no circuito com o *push button* servem para tirar os ruídos inseridos por ele no circuito e para segurar o valor em nível alto, ou seja, em cinco volts na porta do microcontrolador para que a leitura seja feita.

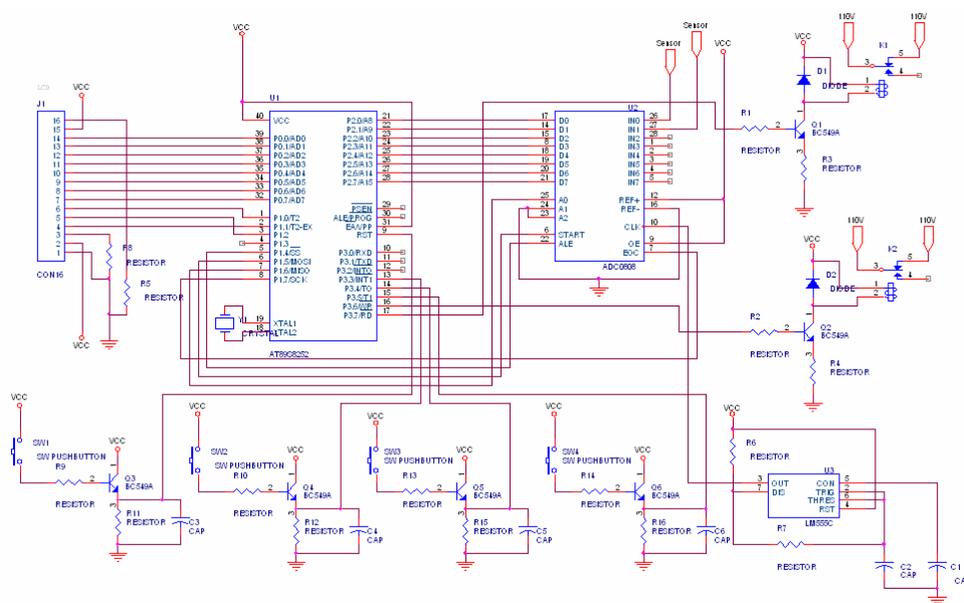


Figura 24 – Esquemático do sistema

4. Conclusão

À primeira vista do projeto, não se podia ter a idéia exata da quantidade de dificuldades a serem enfrentadas como as que foram encontradas. Um simples fotodiodo se mostrou um grande obstáculo devido a aparentes problemas de linearidade e, principalmente de ruídos ópticos e elétricos.

O circuito digital apresenta uma imprecisão devido ao conversor analógico digital de aproximadamente 20 mV, que representa um erro de aproximação de aproximadamente 2% nas medidas. Porém o software embarcado no microcontrolador não imprime no display nenhuma casa decimal depois da vírgula. A imprecisão do sistema de processamento digital do sistema devido a aproximações não é superior a 2%.

Este projeto teve uma particular importância de se desenvolver um sistema aplicado diretamente no setor da saúde. Com este tipo de responsabilidade, o seu desenvolvimento tornou-se algo a ser bem elaborado, com resultados precisos e confiáveis.

Os alunos puderam avaliar na prática a integração e aplicação de inúmeras aulas teóricas vistas em sala de aula que muitas vezes aparentaram não ter conexão alguma.

Atualmente, o projeto está em fase de finalização para os próximos meses e deverá ficar em uso no Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto.

5. Próximos Passos

Essa seção indica algumas etapas adicionais e sugestões que deverão ser implementadas neste projeto previamente a sua conclusão:

- Confeção da placa de circuito impresso;
- Adaptação do circuito em uma caixa e criação de um layout para o equipamento;
- Criar um manual de utilização do equipamento;
- Entrega do equipamento ao Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto.

Etapas sugeridas para implementação posterior:

- Criação de um gravador *in-circuit* para atualização do *firmware* do equipamento. Essa versão do equipamento já está com as portas de comunicação serial disponíveis para essa implementação;
- Adicionar novos tipos de teste que podem ser feitos em lentes;

6. Bibliografia

[1] Ventura, Liliane, “O Olho Humano e as Ametropias Oculares” - Apostila do curso “Introdução à Instrumentação Oftálmica”, 2005.

[2] Sliney, D. H., “Photoprotection of the eye – UV radiation and sunglasses” - Journal of Photochemistry and Photobiology .v.64, pp. 166–175, 2001.

[3] Harm, W., “Biological effects of ultraviolet radiation” - IUPAB biophysics series - Cambridge, Eng.; New York : Cambridge University Press, 216 p. , 1980.

[4] Koller, L. R., “Ultraviolet radiation” - New York : Wiley, 270p., 1952.

[5] Sliney, D.H., “UV radiation ocular exposure dosimetry” - Journal of Photochemistry and Photobiology, v.31, pp. 69-77, 1995.