

Richard King Junior

**Medidor Portátil de Categorias e Proteção Ultravioleta em Óculos
de Sol, com Comunicação "Bluetooth"**

São Carlos

2021

Richard King Junior

**Medidor Portátil de Categorias e Proteção Ultravioleta em Óculos
de Sol, com Comunicação "Bluetooth"**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica com Ênfase em Eletrônica, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientadora: Profa. Dra. Liliane Ventura

São Carlos

2021

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

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

King Junior, Richard
KK52m
Medidor Portátil de Categorias e Proteção
Ultravioleta em Óculos de Sol, com Comunicação
"Bluetooth" / Richard King Junior; orientadora Liliane
Ventura. São Carlos, 2021.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2021.

1. Ultravioleta. 2. Óculos de Sol. 3.
Transmitância. 4. ABNT ISO 12312-1. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Richard King Júnior

Título: Sistema de Medidas de Categorias e Proteção Ultravioleta em Óculos de Sol com comunicação "bluetooth"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e
aprovado em 13/07/2021,

com NOTA 6,4 (seis , quatro), pela
Comissão Julgadora:

Profa. Associada Liliane Ventura - Orientadora - SEL/EESC/USP Dr.

Leonardo Mariano Gomes - Eng. Elétrica - EESC/USP

Dr. Marcio Makiyama Mello - Victor Vision Indústria de Equipamentos
Médicos

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP: Prof. Associado
Rogério Andrade Flauzino

Dedico este trabalho a todos os que me ajudaram ao longo desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Aos meus amigos que estiveram comigo durante a graduação, por muitos momentos vocês foram o motivo de eu não ter quebrado. Em especial agradeço ao Rafael Rosolen, Lucas Blaauw, José Vitor Salgado, Filipe Blaauw, Arthur Almeida, Nicholas Totti e à Victória Franco. Eu não teria chegado aqui sem vocês e por isso sou eternamente grato.

À Profa. Dra. Liliane Ventura que me orientou e auxiliou durante esse projeto.

Ao Artur e ao Leonardo pelo suporte durante o projeto.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1. Espectro visível e o radiação ultravioleta	19
1.2. A radiação Ultravioleta no olho humano	19
1.3. Óculos de sol	20
1.4. Transmitância	20
1.5. Função de Ponderação	21
1.6. Norma ABNT	22
1.7. Sistemas anteriormente desenvolvidos	23
1.8. Objetivo	24
2. Materiais e Métodos	25
2.1. Iluminação e Sensores	27
2.1.1. Lampadas	27
2.1.2. Sensor Luz Visível - TCS3475	28
2.1.3. Sensor UV - EPD-365-0-1.4	30
2.1.3.1 Amplificadores dos sensores UV	31
2.2. Microcontrolador e módulos adicionais	33
2.2.1 Arduino	33
2.2.2. Conversor A/D - ADS1115	34
2.2.3. Modulo Bluetooth - HC-06	35
2.3. Circuito Final	35
2.4. Programação	36
2.4.1. Software embarcado	37
2.4.2. Interface de comunicação com o usuário	38
2.5. Mecanica	41
3. Resultados	45
4. Conclusão e Discussão	48

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Função de ponderação visível.....	21
Figura 2 - Função de ponderação ultravioleta.....	22
Figura 3 - Totem desenvolvido em 2012 no LIO/SEL.....	24
Figura 4 - Diagrama de blocos do sistema proposto.....	25
Figura 5 - Esquemático do circuito proposto.....	26
Figura 6 - Led LUW W5AM-LXLY-6P7RZ.....	27
Figura 7 - Lâmpada PHILIPS.....	28
Figura 8 - Responsividade Espectral TCS3475.....	29
Figura 9 - Sensor TCS3475.....	29
Figura 10 - Reponsividade Espectral EPD-365-0-1.4.....	30
Figura 11 - Sensor EPD-365-0-1.4.....	31
Figura 12 - Esquemático do circuito amplificador do sensor UV.....	32
Figura 13 - Circuito amplificador do sensor UV.....	33
Figura 14 - Arduino.....	34
Figura 15 - ADS1115.....	34
Figura 16 - HC-06.....	35
Figura 17 - Parte posterior da PCB.....	36
Figura 18 - Parte frontal do circuito.....	36
Figura 19 - Esquemático de funcionamento do software do arduino.....	38
Figura 20 - Esquemático de funcionamento do software do app.....	39
Figura 21 - Telas do Aplicativo.....	40
Figura 22 - Foto da parte mecânica do capacete aberto.....	41
Figura 23 - Foto da parte mecânica do capacete fechado.....	42
Figura 24 - Foto base final.....	43
Figura 25 - Foto base.....	44
Figura 25 – Diferença Percentual Transmitância Visível.....	47
Figura 26 - Diferença Percentual Transmitância UV	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre categoria do filtro e transmitância visível e transmitância UV-A.....	23
Tabela 2 - Resultados de transmitância UV e visível comparado com os valores de referência...	45
Tabela 3 - Lista de componentes utilizados.....	51
Tabela 4 - Componentes usados no circuito amplificador.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
LIO	–	Laboratório de Instrumentação Oftálmica
LED	–	Light Emitting Diode
I ² C	–	Inter-Integrated Circuit
ISO	–	Organização Internacional para Padronização
UV	–	Ultravioleta
CIE	–	Comissão Internacional de Iluminação
A/D	–	Analógico/Digital
RGBC	–	Vermelho, verde, azul e claro

LISTA DE SÍMBOLOS

λ	—	Comprimento de onda
τ	—	Transmitância
τ_v	—	Transmitância do espectro visível
τ_{uv}	—	Transmitância do espectro ultravioleta
τ_M	—	Transmitância média
$W_f(\lambda)$	—	Weighting Function (função de ponderação)

RESUMO

Junior, R. K. **Medidor Portátil de Categorias e Proteção Ultravioleta em Óculos de Sol, com Comunicação "Bluetooth"**. 2021. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

Este trabalho trata sobre a construção de um protótipo que realiza medições de transmitância ultravioleta, mais especificamente UV-A, e transmitância da luz visível, além de averiguar se as lentes atendem os requisitos de proteção estabelecidos pela norma ABNT NBR ISO 12312-1. O objetivo é que o protótipo tenha um caráter informativo e educativo, não um objetivo de certificação de lentes. O protótipo foi construído dentro de um capacete de moto adaptado com o objetivo de criar uma experiência para o usuário e permitir que o circuito seja transportado com facilidade.

Os componentes ópticos principais do projeto foram a fonte de luz visível (LUW W5AM-LXLY-6P7RZ), a fonte de luz UV (PHILIPS, Actinic TL BL), os sensores UV-A (Genuine UV Technology, GUVA-S12SD) e o sensor RGBC (TCS3475).

Os principais componentes eletrônicos são um Arduino nano, um conversor A/D, um módulo de comunicação bluetooth e um amplificador de transimpedância.

Por fim foram desenvolvidos dois softwares, um para o arduino escrito na linguagem C++ adaptada para o arduino e um para o celular, que é utilizado como interface de comunicação com o usuário, escrito em Typescript e compilado com a tecnologia Ionic para compatibilidade com Android.

Os resultados obtidos neste projeto foram satisfatórios. Ainda assim, por ser uma versão inicial do sistema móvel, ainda existem melhorias a serem feitas em versões futuras.

Palavras-chave: óculos de sol, radiação, proteção, transmitância, ultravioleta, ABNT NBR ISO 12312-1.

ABSTRACT

Junior, R. K. Portable Category and Ultraviolet Protection Meter in Sunglasses, with "Bluetooth" Communication. 2021. Undergraduate Thesis – Sao Carlos School of Engineering, University of Sao Paulo, Sao Carlos, 2021.

This work is about the construction of an prototype that perform ultraviolet transmittance measures, specifically UV-A, and visible light transmittance , in addition to verifying whether the lenses meet the protection requirements laid down by the ABNT NBR ISO 12312-1 standard. The objective is that the built prototype has an informative and educational feature, not an objective of lens certification. The prototype was built inside an adapted motorcycle helmet with the intent of creating an user experience and allow the circuit to be easily transported.

The main optical components of the project were the visible light source (LUW W5AM-LXLY-6P7RZ), the UV light source (PHILIPS, Actinic TL BL), the UV-A sensor (Genuine UV Technology, GUVA-S12SD) and the RGBC sensor (TCS3475).

The main electronic components were Arduino nano, A/D converter, a bluetooth communication module and a transimpedance amplifier.

Lastly, two software were developed, one written for arduino in the programming language C++ adapted for arduino and one for the cell phone, that is used as the communication user's interface, written in Typescript and compiled with the Ionic technology for Android compatibility.

The results obtained in this project were satisfactory. Still, being an early version of the mobile system, there are still improvements to be made in future versions.

Keywords: sunglasses, radiation, protection, transmittance, ultraviolet, ABNT NBR ISO 12312-1.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Espectro visível e o radiação ultravioleta

A radiação emitida pelo sol possui uma faixa espectral com comprimentos de onda que variam de 100 nm até 10^6 nm. Para esse trabalho é relevante a faixa de 100 nm a 780 nm. Essa faixa pode ser subdividida em duas faixas. A faixa ultravioleta, que varia de 100 nm a 400 nm, e a faixa visível, que varia de 400 nm a 780 nm.

A radiação ultravioleta ainda pode ser subdividida novamente em três faixas, o UV-C que varia de 100 nm a 280 nm e é praticamente completamente absorvido pela atmosfera da terra, o UV-B que varia de 280 nm a 315 nm e é 90% absorvido pela atmosfera e por fim o UV-A que varia de 315 nm a 400 nm.

Por ser muito menos absorvida pela atmosfera, a radiação UV-A é a mais presente na superfície terrestre. Uma pequena parcela da radiação UV-B também incide sobre a superfície da terra, porém como os materiais comumente utilizados na produção de lentes já filtra completamente essa radiação ela se torna pouco significativa para esse projeto. Assim o foco desse projeto se restringe apenas a radiação UV-A.(WHO, 1994)

1.2. A radiação Ultravioleta no olho humano

Existem evidências que indicam que a exposição dos olhos à radiação ultravioleta de forma aguda ou de forma pequena e repetida pode causar danos nos olhos, sendo a radiação UV-B mais danosa aos olhos do que a UV-A. “Os sintomas e sinais mais comuns, determinados por uma exposição aguda, são hiperemia, lacrimejamento intenso, prurido, fotofobia, edema conjuntival e palpebral e dificuldade de adaptação ao escuro.” (Oliveira, P.R.; Oliveira, A.C.; Oliveira, F.C., 2001)

Ainda existem estudos que indicam que a exposição à radiação ultravioleta pode causar alterações patológicas na estrutura dos olhos, como a catarata.

1.3. Óculos de sol

Os óculos de sol são acessórios muito utilizados atualmente, seja pela estética proporcionada pelo objeto ou pelo fato de trazer conforto visual. Porém, lentes que não possuem a proteção UV adequada podem induzir potenciais danos aos olhos causados pela radiação UV.

1.4. Transmitância

Transmitância é a parcela de luz que atravessa um filtro dividida pela parcela de luz incidente sobre esse filtro, em um determinado comprimento de onda. Pode ser determinada pela equação 1, na qual I representa a intensidade da radiação (medida em W/m^2) após atravessar a amostra e I_0 a intensidade da radiação incidente (MELLO, 2014).

$$\tau = \frac{I}{I_0} \quad \tau(\%) = \frac{I}{I_0} * 100\% \quad (1)$$

A transmitância pode variar de 0% (toda luz incidente foi bloqueada) a 100% (toda a luz incidente foi transmitida).

A transmitância média de um material é a média ponderada das transmitâncias para cada comprimento de onda dentro de um determinado intervalo(MELLO, 2014). A equação 2 mostra o cálculo da transmitância média para uma região compreendida entre λ_1 e λ_2 usando a função de ponderação .

$$\tau_M = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_f(\lambda) \cdot W_f(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W_f(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

Em que:

$\tau_f(\lambda)$: transmitância espectral em função do comprimento de onda;

$W_f(\lambda)$: função de ponderação;

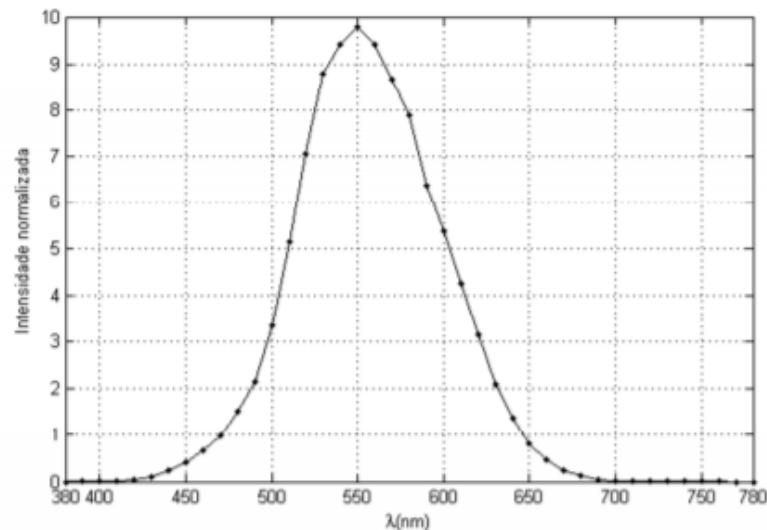
τ_M : transmitância média entre o intervalo de λ_1 a λ_2

Neste trabalho, serão utilizadas a transmitância visível (τ_v , que varia de 400 nm a 780 nm, e a transmitância ultravioleta-A (τ_{uv}) que varia de 315 nm a 400 nm.

1.5. Função de ponderação

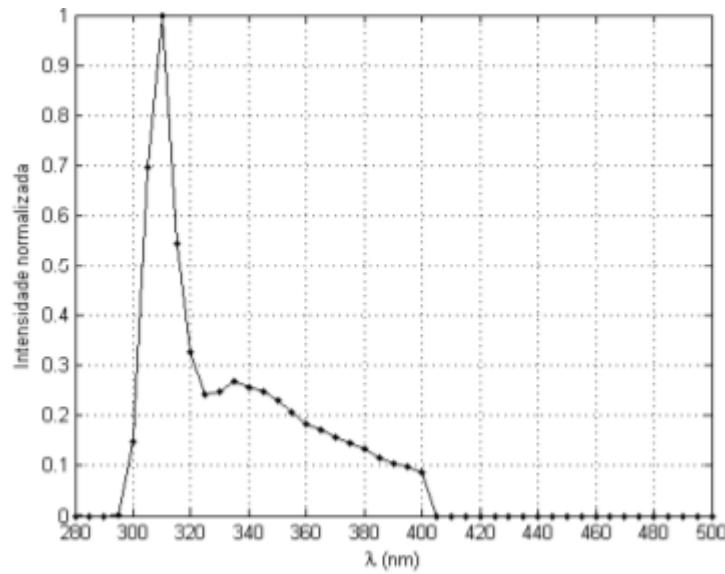
As funções de ponderação utilizadas estão definidas na norma ABNT. Abaixo temos os gráficos que apresentam a função de ponderação no espectro visível na figura 1 e a função de ponderação do espectro ultravioleta na figura 2.

Figura 1 - Função de ponderação visível



Fonte: Mello, 2014 (dados retirados da NBR15111)

Figura 2 - Função de ponderação ultravioleta



Fonte: Mello, 2014 (dados retirados da NBR15111)

A função de ponderação visível é definida pela seguinte fórmula $W_{fvis}(\lambda) = V(\lambda).S_{D65\lambda}(\lambda)$.

Onde $V(\lambda)$ é a função de visibilidade espectral para visão com luz diurna e $S_{D65\lambda}(\lambda)$ é a distribuição espectral da radiação do iluminante-padrão D65 da CIE.

Já a função de ponderação UV é definida pela seguinte fórmula $W_{fuv}(\lambda) = V(\lambda).E_{s\lambda}(\lambda)$.

Onde $V(\lambda)$ é a função de eficácia espectral relativa para radiação ultravioleta e $E_{s\lambda}(\lambda)$ é a intensidade de radiação do sol ao nível do mar e massa de ar 2 (MELLO, 2014).

1.6. Norma ABNT

Para evitar o problema de danos induzidos por lentes inadequadas, existe a norma da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), NBR 12312-1 que estabelece as características físicas (mecânicas, ópticas, etc.) para óculos de sol e filtros de proteção solar com potência nominal nula, ou seja, 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”.(ABNT, NBR12312-1).

A seguir segue a tabela com as características exigidas pela norma de transmitância UV em relação a categoria dos óculos, categoria essa que é determinada pela transmitância da luz visível.

Tabela 1 - Relação entre categoria do filtro e transmitância visível e transmitância UV-A

Categoria do Filtro	Transmitancia Visive(τ_v)l Minima (%)	Transmitancia Visive (τ_v)l Maxima (%)	Valor máximo de transmitancia UV-A (τ_{uv})
0	80	100	τ_v
1	43	80	τ_v
2	18	43	$0.5\tau_v$
3	8	18	$0.5\tau_v$
4	3	8	1% absoluto ou $0.25\tau_v$, o maior entre os dois

Fonte: Adaptado ABNT (2015)

Lentes com transmitâncias abaixo de 3% não são definidas pela norma ABNT NBR ISO 12312-1, visto que são muito escuras e que não contemplam a categoria de óculos para uso geral (LOUREIRO, 2017).

Essa relação de dependência entre transmitância UV e transmitância do espectro visível ocorre pelo fato de que a pupila, que é uma proteção natural do olho contra raios UV, se contrai ou dilata em relação a intensidade luminosa.

Consequentemente, conforme os óculos reduzem a intensidade luminosa que chega nos olhos do usuário, eles causam uma dilatação das pupilas, o que reduz a proteção natural dos olhos contra a radiação UV. Assim é necessário que a lente filtre a radiação de maneira a compensar a redução da proteção natural gerada pela dilatação da pupila.(LIO, 2011)

1.7. Sistemas anteriormente desenvolvidos

Anteriormente foram construídos dois totens com a finalidade de medir a transmitância visível, categorizar o óculos baseado nessa transmitância, medir a transmitância UV e indicar se o óculos está de acordo com a norma estabelecida pela ABNT. A seguir, na figura 1, temos as imagens de um dos totens.

Figura 3 - Totem desenvolvido em 2012 no LIO/SEL



Fonte: MELLO; LINCOLN; VENTURA

Também foi construído um protótipo no LIO em 2019 que buscava ter as mesmas funcionalidades dos totens construídos, só que de forma que o sistema fosse menor e mais leve para que pudesse ser transportado com facilidade. Entretanto, o protótipo construído não conseguiu alcançar a precisão desejada nas medidas de transmitância UV devido ao sensor UV utilizado (ZHI, 2019).

1.6. Objetivo

O objetivo desse projeto, assim como os anteriores, foi construir um sistema acessível ao público geral, que de maneira simples e intuitiva faça as medidas de transmitância visível e transmitância UV e indique se o óculos testado está de acordo com a norma vigente ou não.

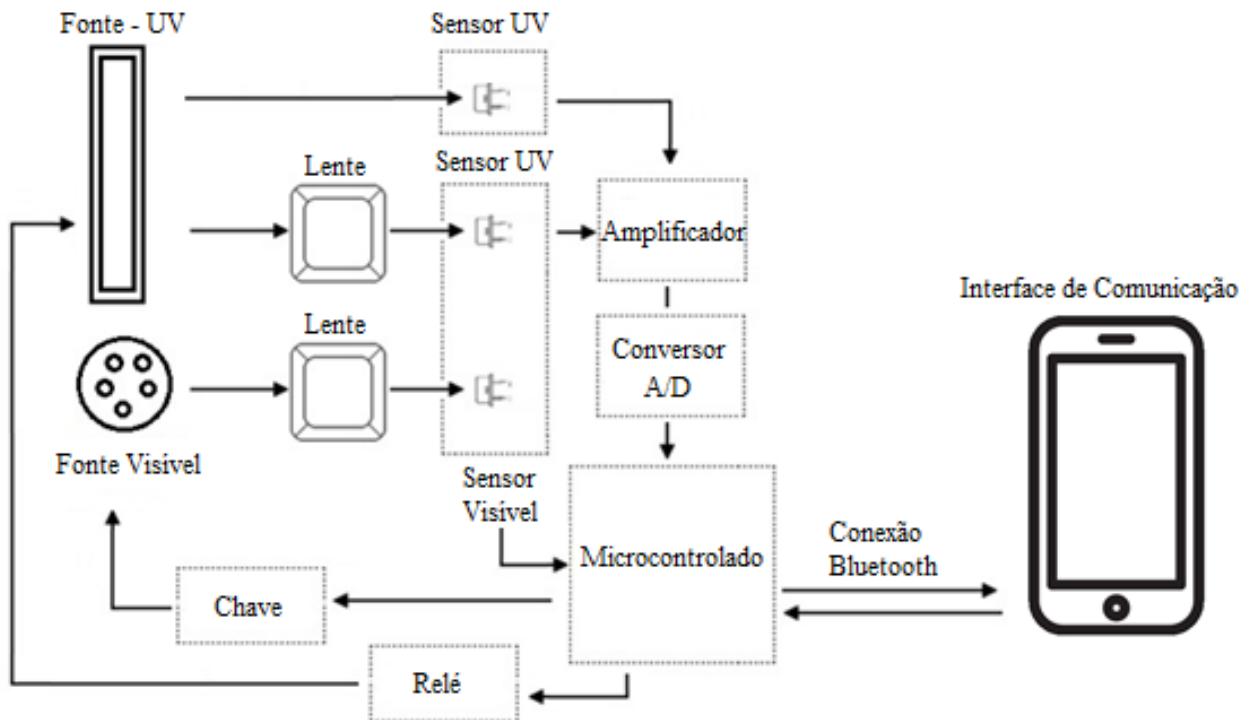
Também foi objetivo desse projeto construir esse sistema dentro de um capacete de forma a criar uma experiência mais satisfatória para o usuário e por colocar todo o sistema dentro do capacete permitir que ele seja transportado com facilidade.

2. Materiais e Métodos

Para realizar as medidas de transmitância em óculos é necessário um circuito eletrônico que receba os sinais gerados pelo sensor de luz visível e pelos sensores de luz UV, processe esses sinais e a partir deles calcule o valor da transmitância visível e da transmitância UV. A partir dos valores obtidos pelo cálculo, analise se a lentes dos óculos atende os requisitos da norma ABNT. Junto a parte eletrônica do sistema também é necessária uma parte mecânica que coloca as fontes de luz, as lentes medidas e os sensores no devidos lugares além de armazenar as os outros componentes do sistema e barrar a luz externa de interferir nas medições.

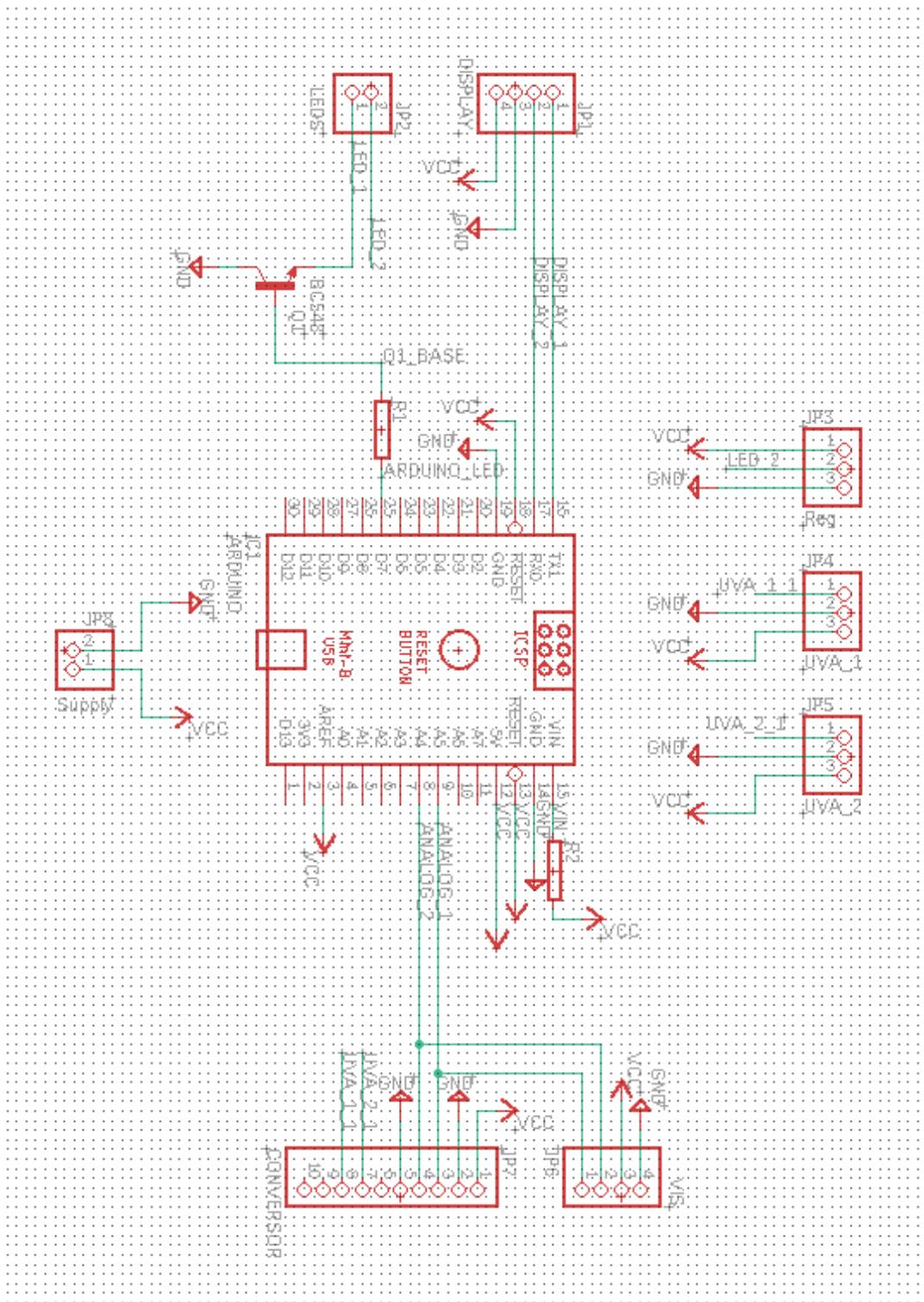
Na figura 2 temos o diagrama de bloco com os módulos do sistema. Na figura 3 temos o esquemático do circuito.

Figura 4 - Diagrama de blocos do sistema proposto



Fonte: Autor, adaptado de uma imagem produzida por MELLO; LINCOLN; VENTURA

Figura 5 - Esquemático do circuito proposto



Fonte: autor

O relé que controla a lâmpada fluorescente está ligado nos pinos 5V, MOSI e GND do ICSP. Todo o sistema foi construído em uma base que encaixa na abertura inferior de um capacete de motocicleta que foi modificado para sustentar os óculos durante o processo de medição.

A lista dos componentes utilizados para construir a parte óptica e eletrônica do sistema está apresentada no apêndice 1.

2.1. Iluminação e Sensores

A função de ponderação do circuito depende da sensibilidade do sensor utilizado e da intensidade da radiação emitida pela fonte, para cada comprimento de onda.

Dessa forma a escolha das lâmpadas e dos sensores teve como foco principal a obtenção de uma curva de ponderação W_{vis} para a transmitância visível e W_{uv} para a transmitância ultravioleta que se aproximasse o máximo possível das funções de ponderação estabelecidas pela norma ABNT.

2.1.1. Lâmpadas

Para a simulação do espectro visível foi utilizado o Led - OSRAM, LUW W5AM-LXLY-6P7RZ, apresentado na figura 4, e para a simulação da radiação UV-A foi utilizada a lâmpada fluorescente PHILIPS Actinic BL TL Mini 4W (PHILIPS, 2018), apresentada na figura 5, em conjunto com um reator.

Figura 6 - Led LUW W5AM-LXLY-6P7RZ



Fonte: datasheet Golden Dragon

Figura 7 - Lâmpada PHILIPS



Fonte: datasheet Philips

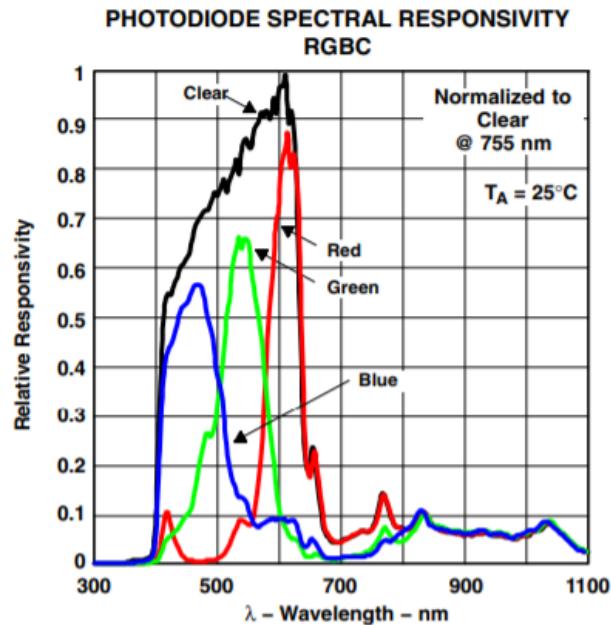
2.1.2. Sensor Luz Visível - TCS3475

O sensor visível utilizado é o TCS3475, um sensor composto por quatro tipos de fotodiodos diferentes, cada um medindo uma frequência (vermelho, verde, azul e claro), arranjados em 4x4 totalizando 16 fotodiodos. Integrado no sensor estão conversores analógicos digitais com resolução de 16 bits, amplificadores e uma interface de comunicação I2C.

O fato do sensor medir separadamente quatro faixas diferentes de comprimento de onda permite que os valores medidos sejam ajustados por software posteriormente para aproximar a função de ponderação do circuito à função de ponderação estabelecida pela ABNT.

Na figura 6 pode-se ver a responsividade espectral do sensor e na figura 7 pode-se ver o sensor.

Figura 8 - Responsividade Espectral TCS3475



Fonte: datasheet TAOS

Figura 9 - Sensor TCS3475



Fonte: Baú da eletrônica

2.1.3. Sensor UV - EPD-365-0-1.4

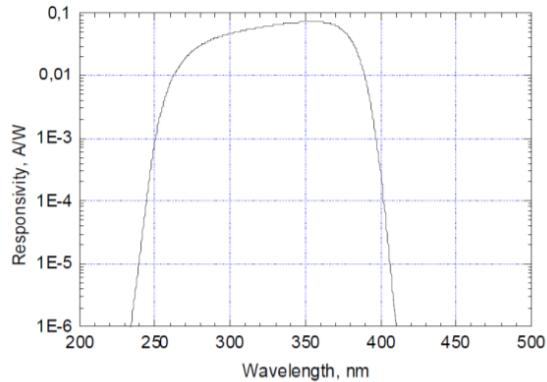
O sensor UV utilizado é o EPD-365-0-1.4, um fotodiodo de fosfato de gálio com sensibilidade alta espectral na faixa de 245 nm até 400 nm. O sensor possui um envoltório do tipo TO-46 hermeticamente selado e um vidro com filtro UV tipo UG11.

São utilizados dois sensores UV para medir a transmitância UV da lente. O primário mede a quantidade de luz que passa a lente, já o secundário é um sensor de referência que sempre mede a quantidade de luz sendo emitida da lâmpada sem a interferência de um filtro.

A distância dos sensores UV em relação a fonte deve ser a mesma. Ambos os sensores devem estar apontados para o mesmo ponto da lâmpada. O sensor secundário é necessário pelo fato de que a lâmpada fluorescente oscila a intensidade da luz no tempo. Dessa forma, o sensor de referência serve para fornecer um valor de intensidade luminosa base da lâmpada UV corrigido no tempo.

A seguir na figura 8 é apresentada a responsividade espectral do sensor e na figura 9 é apresentado o sensor.

Figura 10 - Responsividade Espectral EPD-365-0-1.4



Fonte: datasheet Farnell

Figura 11 - Sensor EPD-365-0-1.4



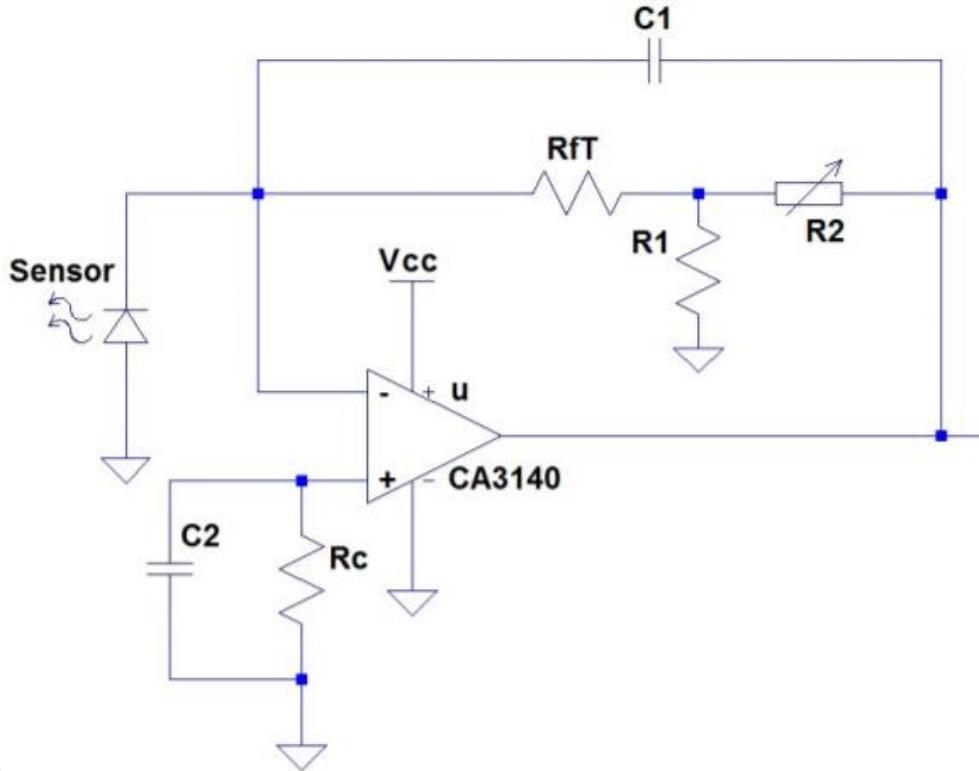
Fonte: Elcodis

2.1.3.1 Amplificadores dos sensores UV

Para possibilitar a leitura do sinal do EDP-365 foi necessário um circuito que convertesse a corrente gerada pelo sensor em uma tensão proporcional que tivesse a magnitude de tensão adequada para ser lida pelo conversor A/D. Para isso foi conectado em cada sensor UV o amplificador de transimpedância apresentado a seguir. Os amplificadores foram calibrados para reduzir ao máximo o offset do circuito e para que a leitura de lâmpada base fique entre 1 V a 2 V, tensão que pode ser convertida para digital com boa resolução.

Na figura 10 pode-se ver o esquemático do circuito montado, a tabela 2 apresenta os componentes usados no circuito e a figura 11 mostra o circuito soldado na placa.

Figura 12 - Esquemático do circuito amplificador do sensor UV



Fonte: autor

A seguir é apresentada a função que descreve o ganho do amplificador.

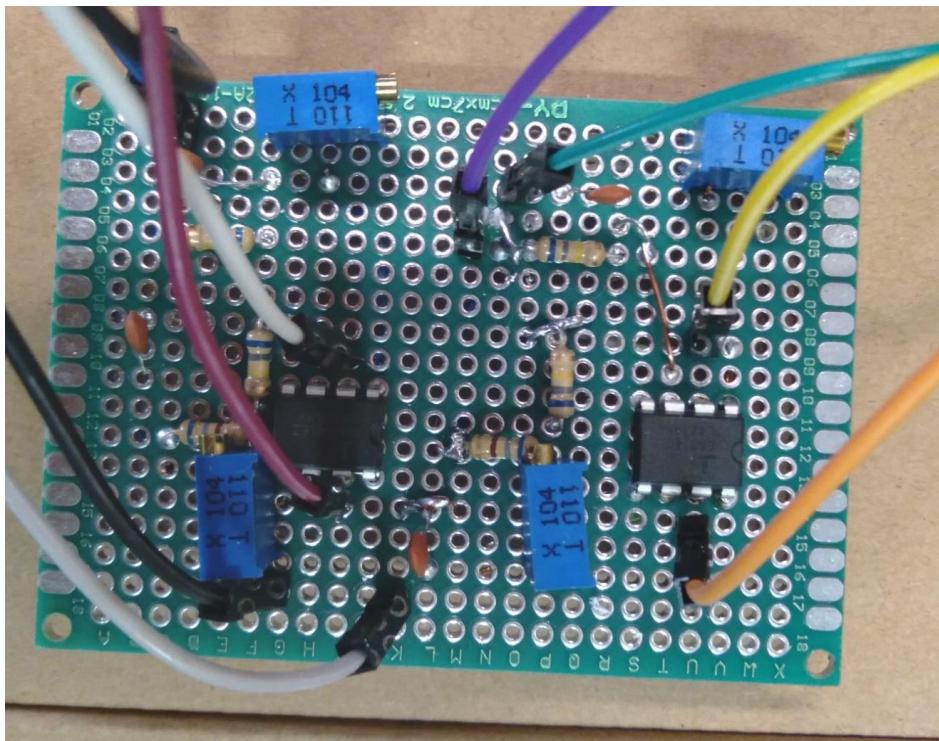
$$V_{out} = R_{eq} * I_{sensor}$$

$$R_{eq} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) * R_{fT}$$

Um ponto importante a ser notado é que os resistores R_1 , R_2 , e R_{fT} poderiam ser substituídos apenas por um único resistor com o valor de R_{eq} , porém é utilizada essa configuração para reduzir o ruído térmico gerado nos resistores.

No apêndice 2 estão descritos os valores dos componentes.

Figura 13 - Circuito amplificador do sensor UV



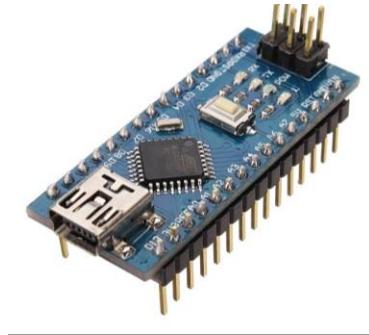
Fonte: autor

2.2. Microcontrolador e módulos adicionais

2.2.1 Arduino

A plataforma de desenvolvimento utilizada é um Arduino Nano, apresentada na figura 12, uma placa baseada no microcontrolador ATmega328P. O arduino recebe os sinais gerados pelos sensores, após serem convertidos de analógico para digital. Ele também faz a comunicação bluetooth serial com a interface de comunicação com usuário. Por fim, o arduino também faz o processamento dos dados recebidos, por exemplo a calibragem do sistema e as medidas de transmitância.

Figura 14 - Arduino

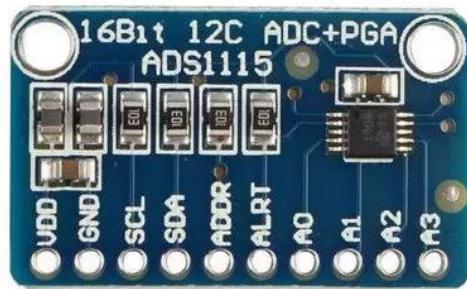


Fonte: Baú da eletrônica

2.2.2. Conversor A/D - ADS1115

O módulo ADS1115, apresentado na figura 13, é uma placa desenvolvida para converter com alta resolução (16 bits) sinais analógicos para sinais digitais e enviar o sinal digital para placas, como o arduino nano utilizado, através da interface I2C. O valor de 1 bit nesse conversor é 0.125 mV, e o sinal de entrada varia de 1 V a 2 V assim a variação de 1 bit representa algo por volta de 0.1% do valor base do sinal.

Figura 15 - ADS1115



Fonte: Baú da eletrônica

2.2.3. Modulo Bluetooth - HC-06

O módulo HC-06, apresentado na figura 14, é um módulo de comunicação bluetooth, com funcionalidade apenas de slave, utilizado para realizar a comunicação bluetooth com o celular que funciona como a interface de comunicação com o usuário. O celular nesse sistema age como o master no processo de comunicação. O slave é o módulo que apenas recebe conexão de forma passiva, enquanto o master é o módulo que realiza a conexão ativamente com o slave. A comunicação entre o HC-06 e o arduino é feita através da interface serial.

Figura 16 - HC-06

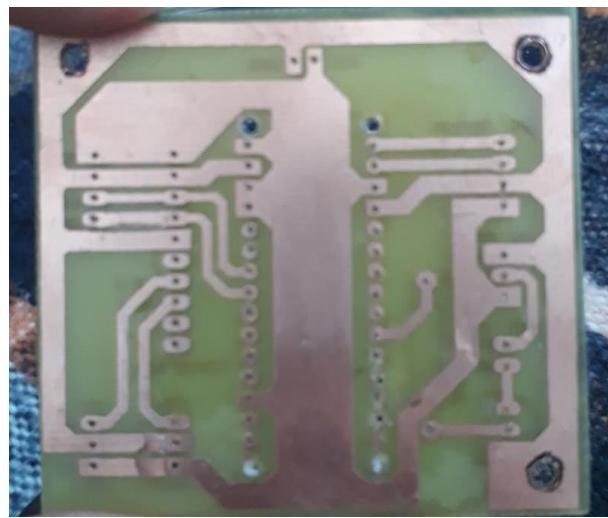


Fonte: Baú da eletrônica

2.3. Circuito Final

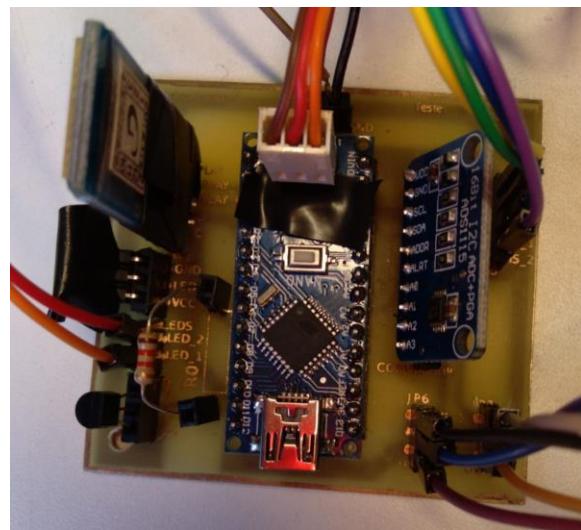
A seguir podemos ver o circuito final, menos o amplificador que foi construído em uma placa separada, nas figuras 14 e 15

Figura 17 - Traseira da PCB



Fonte: autor

Figura 18 - Parte frontal do circuito



Fonte: autor

2.4. Programação

Para controlar todo o sistema foram desenvolvidos dois softwares, um deles para controlar o arduino e o outro é um aplicativo com compatibilidade Android 5.0+, para realizar a comunicação do sistema com o usuário. As funcionalidades de cada software serão detalhadas a seguir.

2.4.1. Software embarcado

O software desenvolvido para o arduino foi feito na linguagem do arduino, que é uma versão modificada do C++. Esse software foi baseado no software utilizado no projeto do Zhi feito em 2019.

O código possui 4 funções principais. A primeira é a função de leitura de comandos recebidos da interface de comunicação do usuário. Ou seja, o programa fica em loop vendo se chegou algum comando na porta serial, quando um comando chega o programa identifica qual é o comando solicitado e chama a função referente a esse comando.

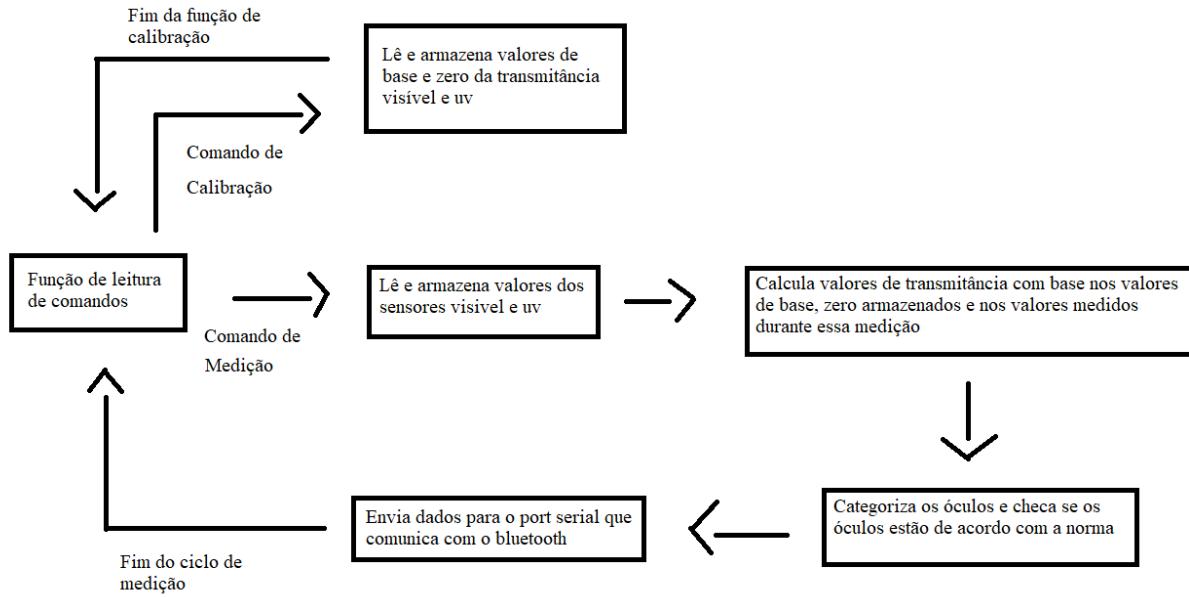
A segunda função é a de calibração do sistema, nesse comando o circuito lê e armazena os valores base (valor quando a transmitância é 100%) de intensidade luminosa e os valores zero (valor quando a transmitância é 0) de intensidade luminosa dos sensores UV e do sensor do espectro visível. Para realizar as medições dos valores zero as lâmpadas são desligadas.

A terceira função é a função de medição, nessa função o programa lê as medições dos sensores UV e do sensor de luz visível e utilizando essas medidas juntamente com as medidas realizadas na calibragem para, através das fórmulas de transmitância apresentadas na introdução, calcular a transmitância das lentes medidas.

A quarta função é chamada em seguida da terceira e a partir dos valores de transmitância medidos na terceira função determina a classificação do óculos e analisa se a proteção UV do óculos está de acordo com a norma NBR ISO 12312-1. Por fim essa função envia todos esses dados através da comunicação serial para o módulo bluetooth que então envia para a interface de comunicação.

A seguir segue o esquemático do funcionamento do programa na figura 17.

Figura 19 - Esquemático de funcionamento do software do arduino



Fonte: autor

Existe uma função secundária que é utilizada tanto na calibração quanto na medição que é fundamental para a medição correta da transmitância visível, a função de ponderação dos valores vermelho, verde, azul e claro.

Essa função recebe esses valores separados, atribui pesos para esses valores e depois os soma. Os pesos de cada valor foram escolhidos para aproximar o máximo possível a função de ponderação do circuito a função de ponderação visível estabelecida pela norma.

2.4.2. Interface de comunicação com o usuário

O software utilizado na interface de comunicação com o usuário é um aplicativo com compatibilidade com Android 5.0+. Esse aplicativo é programado em Typescript com o auxílio da framework Ionic/Angular, através dessa framework do Ionic esse código é compilado em um arquivo .apk para rodar no Android. Dentro do framework do Ionic foi adicionada o plugin BluetoothSerial.

O aplicativo possui cinco funções principais. A primeira função é a que conecta o celular com o módulo bluetooth HC-06, enquanto a segunda desconecta o celular do módulo HC-06.

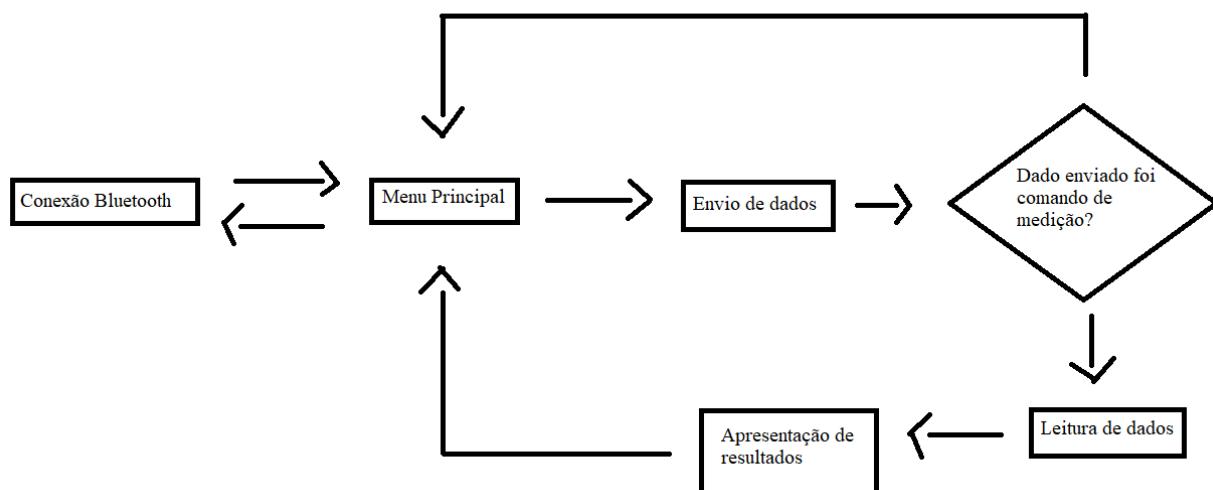
A Terceira função é a de enviar comandos para Arduino através do Bluetooth, com essa função são enviados os comandos de calibragem e de medição do sistema.

A quarta função é a de leitura, que é chamada após o comando de medição ser enviado. Essa função lê a entrada serial do celular, onde ela pega a string no formato JSON enviada pelo arduino com os dados de transmitância, categoria do óculos e conformidade com a norma ABNT e converte em um array. Então ela apresenta esses dados na tela para o usuário e também indica a conformidade dos óculos por áudio.

A quinta função é uma função simples de volta para levar o usuário ao menu principal e permitir que ele faça outra medida ou calibre novamente o sistema.

A seguir segue o esquemático do funcionamento do aplicativo na figura 18.

Figura 20 - Esquemático de funcionamento do software do app



Fonte: autor

Na figura 19.a pode-se ver a tela de inicio do aplicativo onde é acionada a primeira função (conectar ao módulo bluetooth) anteriormente apresentada.

Na figura 19.b tem o menu principal do aplicativo, onde é possível acionar a segunda função (desconectar do módulo bluetooth) e a segunda (os possíveis comandos enviados dessa tela são: calibrar ou medir).

Na figura 19.c é apresentada a tela que é apresentada quando a quarta função é chamada. Nessa tela também é possível acionar a quinta função (volta ao menu principal).

Figura 21 - Telas do Aplicativo

a)

Teste UV

lio

LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO OFTÁLMICA

PROCURAR DISPOSITIVOS

b)

Teste UV

lio

LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO OFTÁLMICA

Vesão 0.6

DESCONECTAR

CALIBRAR

MEDIR

c)

Teste UV

lio

LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO OFTÁLMICA

Transmitancia UV: 100
Transmitancia visivel: 100
Categoria: 0
Aprovado

VOLTAR INICIO

Fonte: autor

No apêndice 3 é possível ver os principais trechos do código da interface de comunicação com a função de conexão do bluetooth, a função de desconexão do bluetooth, a função de envio de dados e a função de leitura de dados.

2.5. Mecanica

A estrutura pode ser dividida em duas partes: o capacete e a base.

Na figura 19 a seguir podemos ver o capacete.

Figura 22 - Foto da parte mecânica do capacete aberto



Fonte: autor

Na figura 20 pode-se ver que a viseira do capacete foi revestida com silver tape para impedir que a luz ambiente entre no capacete e interfira com a medição. Além de impedir que a luz ambiente interfira na medição o capacete serve como suporte para os óculos e como uma proteção para os componentes da base.

Figura 23 - Foto da parte mecânica do capacete fechado

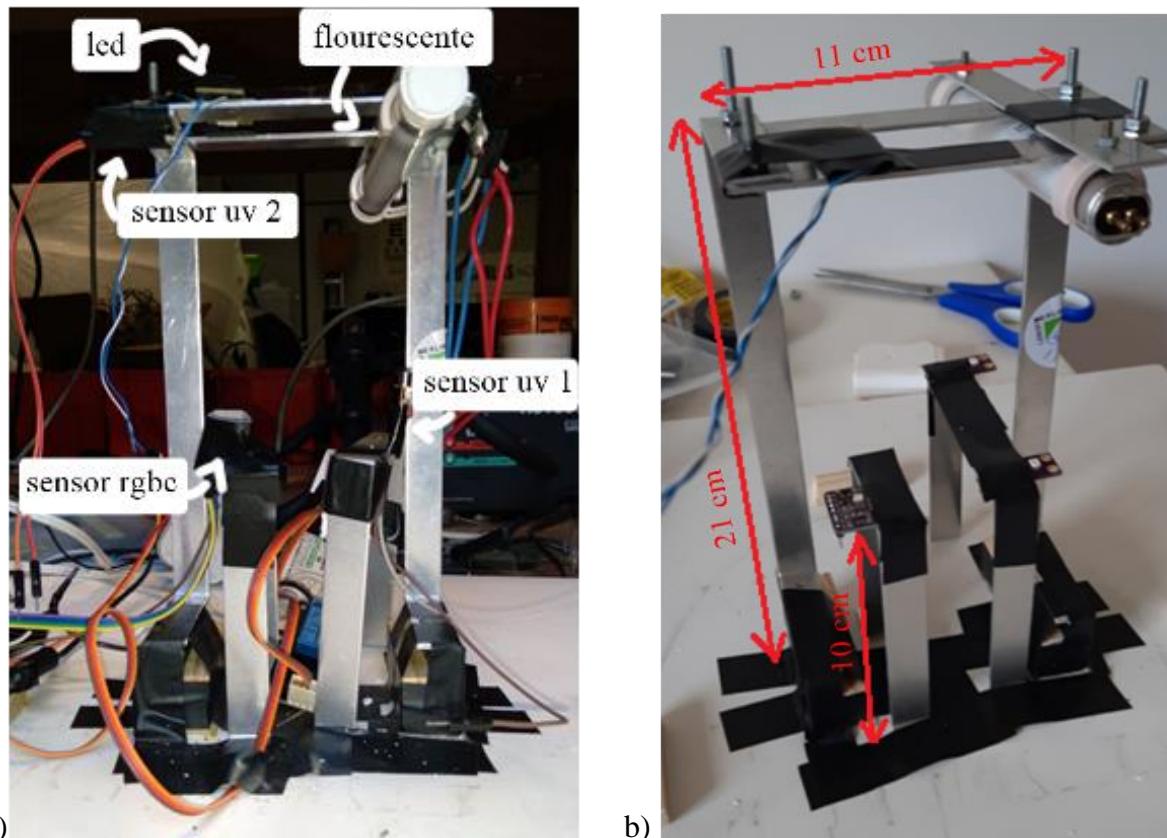


Fonte: autor

O eixo que sustenta o rosto no meio do capacete está a 9,5 cm da base e quando o eixo é girado, para alinhar as lentes e as aberturas dos olhos da máscara com os sensores, a máscara fica a 11,6 cm da base.

Na figura a seguir podemos ver a base do circuito sem o capacete. A figura 21 mostra a versão final da base, enquanto a figura 22 mostra a base sem todos os componentes eletrônicos para melhor visualização da estrutura de sustentação.

Figura 24 - Foto base final e da base simples



Fonte: autor

Os suportes que sustentam a lâmpada e o led que possui 21 cm de altura e 11 cm de largura, nesse suporte também está sustentado o sensor UV secundário.

Os suportes que sustentam o sensor de luz ambiente e o sensor UV primário tem 10 cm de altura. O sensor UV primário ultrapassa o suporte por 3 cm. O sensor secundário fica a mesma distância da luz que o sensor primário, porém esse fica sustentado no mesmo suporte que a luz.

E por fim podemos ver o sistema por completo na figura 23.

Figura 25 - Sistema completo



Fonte: Autor

O relé e o atomizador da lampada flourescente ficam posicionados atrás dos suportes enquanto o a pcb fica na frente dos suportes.

3. Resultados

A seguir na tabela 4 estão os resultados dos testes feitos. Também está presente a diferença entre o teste feito pelo protótipo e o valores de referência que fornecidos pelo laboratório, esses valores foram obtidos pelo espetrômetro Cary.

Tabela 4 - Resultados de transmitância UV e visível comparado com os valores de referência

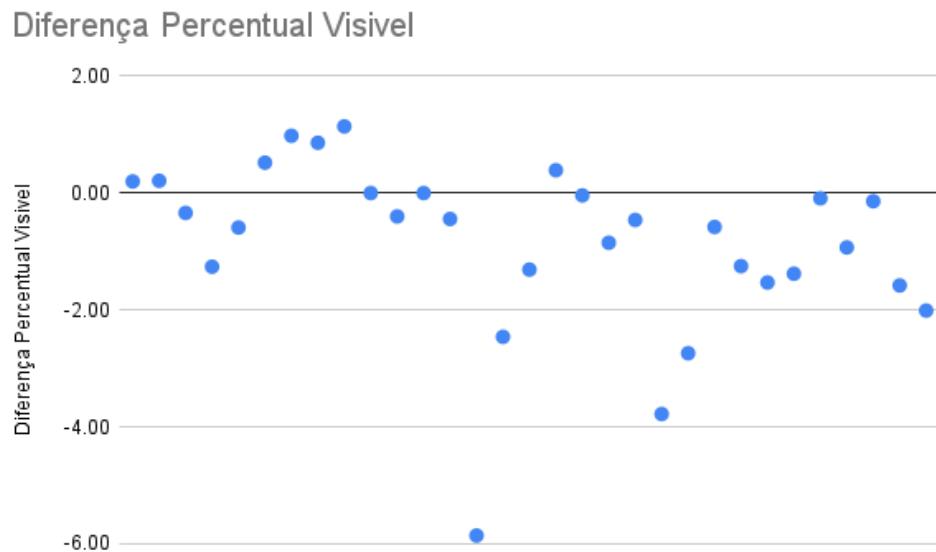
Lente	Visível (%)	UV (%)	Ref - Visível (%)	Ref - UV (%)	Diferença Percentual UV	Diferença Percentual Visível
1	3.68	0.05	3.88	0.02	0.0	0.20
2	9.39	1.49	9.60	1.50	0.0	0.21
3	9.44	1.71	9.10	1.40	0.3	-0.34
4	22.16	2.72	20.90	3.70	-1.0	-1.26
5	12.49	1.8	11.90	1.10	0.7	-0.59
6	4.28	0.05	4.80	0.00	0.1	0.52
7	6.62	0.05	7.60	0.00	0.1	0.98
8	5.44	0.05	6.30	0.00	0.1	0.86
9	7.56	0.05	8.70	0.00	0.1	1.14
10	17.3	2.15	17.30	2.00	0.2	0.00
11	9	1.29	8.60	1.20	0.1	-0.40
12	11	0.05	11.00	0.00	0.1	0.00
13	12.49	3.58	12.05	2.22	1.4	-0.44
14	13	1.16	7.14	0.36	0.8	-5.86
15	9.27	1.56	6.81	0.96	0.6	-2.46
16	4.71	0.03	3.40	0.00	0.0	-1.31
17	6.64	0.03	7.03	0.00	0.0	0.39

18	3.72	0.04	3.68	0.00	0.0	-0.04
19	9.87	1.11	9.02	1.40	-0.3	-0.85
20	2.79	0.04	2.33	0.00	0.0	-0.46
21	15.83	2.98	12.05	2.95	0.0	-3.78
22	12.55	0.04	9.81	0.00	0.0	-2.74
23	10.27	0.03	9.69	0.00	0.0	-0.58
24	11.23	2.29	9.98	1.60	0.7	-1.25
25	12.84	0.06	11.31	0.49	-0.4	-1.53
26	9.29	0.05	7.91	0	0.1	-1.38
27	5.54	0.05	5.45	0	0.1	-0.09
28	12.24	0.05	11.31	0	0.1	-0.93
29	9.53	0.03	9.4	0	0.0	-0.1
30	13.88	0.05	12.3	0	0.1	-1.58
31	8.51	3.19	6.5	1.28	1.9	-2.01

Fonte: autor

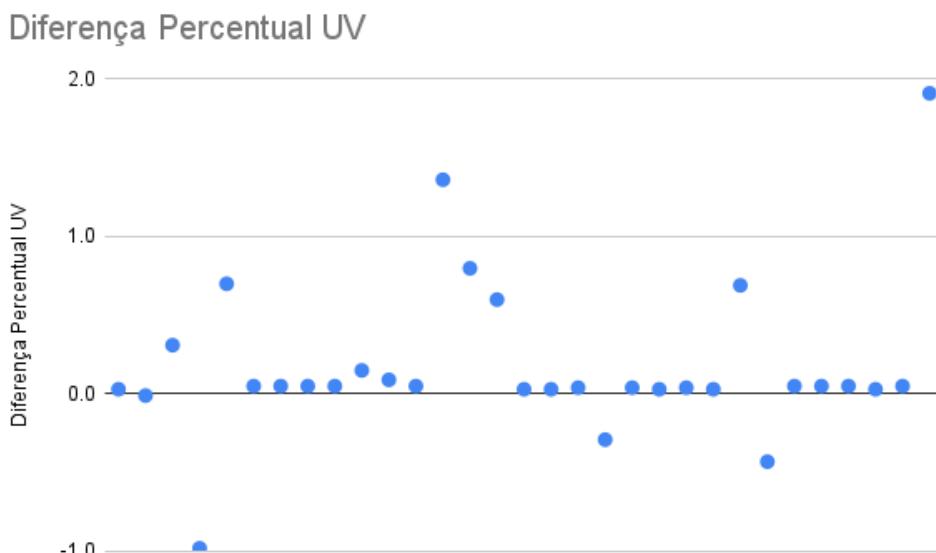
A seguir nas figuras 25 e 26 temos a diferença dos valores obtidos pelo sistema construído em relação aos valores de referência, aqui pode-se ver com mais clareza a precisão do sistema.

Figura 25 - Diferença Percentual Transmitância Visível



Fonte: autor

Figura 26 - Diferença Percentual Transmitância UV



Fonte: autor

4. Conclusão e Discussão

O objetivo deste projeto foi a construção de um sistema de medição de transmitância visível e transmitância UV-A e de verificação de conformidade dos óculos medidos com a norma ABNT, para óculos sem grau. Esse sistema foi construído dentro de um capacete de moto adaptado que permite uma boa mobilidade do sistema pelo seu tamanho e leveza.

O software desenvolvido para comunicação teve como foco ser intuitivo, de forma a ser acessível ao público geral, e educativo por apresentar os conceitos de transmitância e de segurança contra radiação ultravioleta de maneira simples e didática.

O uso de um aplicativo de celular que se comunica através de uma conexão bluetooth com o resto do sistema é um ponto completamente novo neste projeto. A comunicação bluetooth retira a necessidade de um cabo conectado a um monitor fora do capacete. E o fato do aplicativo ser produzido em Angular, uma das frameworks de programação mais utilizadas atualmente para desenvolvimento web e de aplicativos híbridos torna a manutenção do código mais simples. Além disso, combinada com os celulares modernos, essa framework fornece diversos recursos para a criação de novas funcionalidades no app, como por exemplo conexão web.

Comparando as medidas UV-A com os valores de referência fornecidos os valores ficam próximos dos desejados com uma diferença máxima de 2%.

A parte de medição do espectro visível também se apresentou bastante precisa. Entretanto houveram duas medidas que ficaram acima de 3% de diferença dos valores de referência.

A parte mecânica do sistema se apresentou satisfatória pois reduz o tamanho do sistema em relação aos totens, criados anteriormente, de forma a possibilitar que o sistema seja transportado com maior facilidade, ao mesmo tempo que fornece a estrutura para que as medições sejam feitas adequadamente. Uma possível melhoria a ser feita nessa parte é uma forma de fixação completa do capacete na base que atualmente é apenas encaixado. Isso seria útil pois quando o sistema é movimentado sem cuidado o capacete pode sair da posição adequada e isso exige que o capacete seja repositionado para alinhar as lentes com as luzes e os sensores.

Referencias Bibliográficas

ADS1115. ADS111x Ultra-Small, Low-Power, I2C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADCs With Internal Reference, Oscillator and Programmable Comparator Datasheet – Texas Instruments.
2009, revised 2018.

Documentação LIO. 2011

Farnell. UV-Photodiode EPD-365-0/1.4. Disponível em:

<http://www.farnell.com/datasheets/312170.pdf>

Ionic. Ionic Angular. 2021. Disponível em:

<https://ionicframework.com/docs/angular/overview>

LUW W5AM, Golden DRAGON Plus Datasheet, Version 1.1 – OSRAM Opto Semiconductors.
2015. Disponível em:

https://www.osram.com/os/ecat/Golden%20DRAGON%C2%AE%20Plus%20LUW%20W5AM/com/en/class_pim_web_catalog_103489/global/prd_pim_device_2402629/

LOUREIRO, A. D. Dispositivo para Medição e Teste de Transmitância Luminosa e Semaforica em Óculos de Sol de Acordo com a Norma Brasileira – ABNT NBR ISO 12312-1:2015. Dissertação (Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2017.

MELLO, M. M. Sistema de Análise de Transmitâncias em Lentes Solares. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2014.

MELLO, M.M.; LINCOLN V.A.C.; VENTURA, L. Self-Service Kiosk for Testing Sunglasses. BioMedical Engineering OnLine201413:45. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-13-45>

MAR, Z. M. Sistema Embarcado de Medidas de Transmitância de Luz Visível e Ultravioleta em Óculos de Sol. 2019. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

OLIVEIRA, P.R.; OLIVEIRA, A.C.; OLIVEIRA, F.C. A radiação ultravioleta e as lentes fotocrônicas. Arq Bras Oftalmol 2001; 64(2):163-5.

PHILIPS Lighting, Actinic BL Datasheet. 2018. Disponível em:

https://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp928000001030-pss-pt_pt

Taos. TCS3472 COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER with IR FILTER. 2012

Wavesen. HC-06. 2011. Disponível em: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/1179032/ETC1/HC-06/1091/HC-06.html>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Environmental Health Criteria. 160: Ultraviolet Radiation. Geneva, 1994.

Apêndice 1

Tabela 4 - Lista de componentes utilizados

Componente	Quantidade
Arduino nano	1
HC-06	1
Módulo ADS1115	1
Led - LUW W5AM-LXLY-6P7RZ	1
lâmpada PHILIPS Actinic BL TL Mini 4W	1
Reator	1
Sensor UV - EPD-365-0-1.4	2
Sensor Luz Visivel - TCS3475	1
Resistor 680 Ω	2
Resistor 680 k Ω	4
Trimpot 100 k Ω	4
Capacitor 10 nF	4
Resistor 1.2 k Ω	1
Transistor NPN - BC548	1
Módulo regulador de tensão 5V - 3.3V	1
Amp Op CA3140	2
Fonte 5V	1
Rele	1

Fonte: autor

Apêndice 2

Tabela 3 - Componentes usados no circuito amplificador

R1	680 Ω
R2	Trimpot 100 k Ω
RC	680 k Ω
RfT	680 k Ω
C1	10 nF
C2	10 nF

Fonte: Autor

Apêndice 3

Trechos do código da interface de comunicação

```
connect(address)  {
  this.teste();
  this.view_lgn_ctrl = false;
  this.bluetoothSerial.connect(address).subscribe(response => {
    this.loading.dismiss();
  }, error => {
    this.deviceDisconnect()
    this.loading.dismiss();
    this.showError(error);
  })
}

deviceDisconnect()  {
  this.bluetoothSerial.disconnect();
  this.view_lgn_ctrl = true;
  this.loading.dismiss();
}

sendData(dataToSend: number)  {
  this.teste();
  this.dataSend = '';
  this.dataSend += dataToSend;
  this.bluetoothSerial.write(this.dataSend).then(async response => {
    await new Promise(resolve => setTimeout(resolve, 10000));
    if(dataToSend == 2){
      this.deviceRead();
    }else{
      this.loading.dismiss();
    }
  }, error => {
    this.showError(error);
    this.loading.dismiss();
  })
}
```

```
async deviceRead() {
  await new Promise(resolve => setTimeout(resolve, 5000));
  this.loading.dismiss();
  let parent = this;

  this.bluetoothSerial.read().then(function (data:string) {
    let string_array = data;
    parent.dados_resposta = JSON.parse(string_array);

    parent.dados_resposta.tuv = parent.dados_resposta.tuv.toFixed(2);
    parent.dados_resposta.tvis = parent.dados_resposta.tvis.toFixed(2);

    if(parent.dados_resposta.resultado == 1){
      let audio1 = new Audio('assets/1.mp3');
      audio1.play();
    }else{
      let audio1 = new Audio('assets/0.mp3');
      audio1.play();
    }
  });
  (response => {
  });
}
```

Apêndice 4

Link dos vídeos apresentando o funcionamento do sistema.

<https://youtu.be/pVXsfumQ06c>

