



DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ELETRÔNICOS

**DESENVOLVIMENTO DE UM CIRCUITO DE TRANSMISSÃO E  
RECEPÇÃO DE DADOS POR MEIO DE LÂMPADA DE LED**

GUSTAVO PALMA DE CARVALHO

MARCELO GARCIA RUA

RAFAEL BENETTI SANTOS

São Paulo - SP

2018

GUSTAVO PALMA DE CARVALHO

MARCELO GARCIA RUA

RAFAEL BENETTI SANTOS

## **DESENVOLVIMENTO DE UM CIRCUITO DE TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO DE DADOS POR MEIO DE LÂMPADA DE LED**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para a  
conclusão do curso Superior de Tecnologia  
em Eletrônica Industrial da Faculdade de  
Tecnologia de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Katsuhiko Yamamoto

São Paulo - SP

2018

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

Carvalho, Gustavo Palma de; Rua, Marcelo Garcia e Santos, Rafael Benetti

DESENVOLVIMENTO DE UM CIRCUITO DE TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO DE DADOS POR MEIO DE LÂMPADA DE LED / Gustavo Palma, Marcelo Rua, Rafael Santos– 2018.

91 f.

Monografia – Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial – Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2018.

Orientador(a): Prof. Dr. Roberto Katsuhiko Yamamoto

1. Transmissão de dados 2. Comunicação Ótica sem Fio (OWC) 3. Comunicação por Luz Visível (VLC)

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**GUSTAVO PALMA DE CARVALHO**

**MARCELO GARCIA RUA**

**RAFAEL BENETTI SANTOS**

### **DESENVOLVIMENTO DE UM CIRCUITO DE TRANSMISSÃO E RECEPÇÃO DE DADOS POR MEIO DE LÂMPADA DE LED**

Aprovada em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

---

Profº. Dr. Paulo Jorge Brazão Marcos

Coordenador do curso / Chefe do Departamento de Sistemas Eletrônicos

---

Profº. Dr. Roberto Katsuhiro Yamamoto

Orientador

---

Profº. Esp. Mauricio Antonio Deffert

Avaliador(a)

---

Profº. Dr. Victor Sonnenberg

Avaliador(a)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a todos que de alguma forma direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho fosse sonhado, mensurado e factível.

A Julio Cezar Adamowski pela ajuda na aquisição/importação dos sensores caracterizados, pois sem eles este trabalho não seria possível.

A Alan Tavares de Souza pela grandessíssima ajuda por seus apontamentos e sugestões para os problemas encontrados na elaboração do circuito receptor.

A nosso orientador Roberto Katsuhiko Yamamoto que acreditou, cobrou e ajudou a chegarmos a conclusão do trabalho.

A nossos familiares que estiveram acompanhando nossa trajetória, noites mal dormidas, fins de semanas ausentes de perto ou de longe.

À Faculdade de Tecnologia de São Paulo por permitir a utilização da infraestrutura necessária à realização deste trabalho.

*“Em algum lugar, alguma coisa incrível  
está esperando para ser descoberta.”*

*Carl Sagan (1934 – 1996)*

## RESUMO

Atualmente, a comunicação ótica se restringe em transmissão de dados em ambiente confinado, como a fibra ótica. A tecnologia OWC (Optical Wireless Communication), comunicação ótica sem fio se encontra ainda em desenvolvimento, porém apresenta muitas vantagens em relação a comunicação via rádio e outras comunicações com fio. Este projeto tem por objetivo o desenvolvimento de um circuito de transmissão e recepção de dados por meio de lâmpada de LED para ambientes fechados. Foram selecionados três sensores de luz (fotodiodos) com sensibilidade no comprimento de onda da luz branca (de 400nm a 700nm). Com base no resultado experimental foram obtidas as sensibilidades de três sensores diferentes, sendo BPW21R o mais sensível aos estímulos luminosos e, portanto, mais adequado ao projeto. Uma vez selecionado o sensor prosseguiu-se com o desenvolvimento de um transmissor que realizasse a modulação do sinal digital, recebido via aplicativo para dispositivos Android por meio do Bluetooth, em um sinal luminoso emitido pela lâmpada de LED. Para decodificação do sinal recebido pelo fotodiodo em um sinal digital válido para o microcontrolador foi necessária a construção de um circuito de recepção para um *baud rate* de 9600 bps. Foram montados, testados e analisados diversos circuitos até chegar a um circuito final. Neste, o sinal ao ser recebido pelo fotodiodo é enviado aos seguintes circuitos na sequência: amplificador integrador, diferenciador, trigger com histerese e comparador. Ao receber 1 byte o microcontrolador compara e processa se a informação é válida realizando a atuação em circuitos de potência, comando e envio de texto. Testes e análises de dados obtidos do circuito final comprovam que o sistema acusou êxito em seu funcionamento e possui um grande potencial para o seu desenvolvimento e aplicação em IoT - *internet of things*, transmissão de dados segura, entre outros.

**Palavras-chave:** Transmissão de dados, Comunicação Ótica sem Fio (OWC), Comunicação por Luz Visível (VLC), comunicação ótica por luz visível, fotodiodo.

## ABSTRACT

Currently optical communication is restricted in data transmission in a confined environment, such as fiber optics. Optical Wireless Communication (OWC) technology is still in development, but it has many advantages over radio communication and other wired communications. The objective of this project is the development of a data transmission and reception circuit by means of an indoor LED light. Initially, three light sensors (photodiodes) with sensitivity in the white light wavelength range (400nm to 700nm) were selected. Based on the result of the experiment in which the sensors were arranged in series with a resistor obtained its sensitivities, the BPW21R being the most suitable for the project. Once the sensor was selected it was continued with the development of a transmitter that carried out the modulation of the digital signal received via application to Android devices through Bluetooth in a signal light emitted by the LED lamp. To decode the signal received by the photodiode, a digital signal valid for the microcontroller required the construction of a receive circuit for a baud rate of 9600 bps. Several circuits were assembled, tested and analyzed until reaching a final circuit. In this, the signal to be received by the photodiode is sent to the following circuits in the sequence: amplifier integrator, differentiator, trigger with hysteresis and comparator. When receiving 1 byte the microcontroller compares and processes if the information is valid performs in circuits of power, command and sending of text. Tests and analysis of data obtained from the final circuit prove that the system has been successful in its operation and has great potential for its development and application in IoT - internet of things, secure data transmission, among others.

**Keywords:** Data transmission, Optical Wireless Communication (OWC), Visible Light Communication (VLC), optical light communication visible, photodiodes.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do fotofone inventado com transmissão no espaço livre acima de 200 metros. ....	4
Figura 2 - Uma scatternet formada de duas piconets.....	7
Figura 3 - Escopo de processo de modulação OOK. ....	12
Figura 4 - Corte transversal de MOSFET tipo N.....	14
Figura 5 - Curva característica do MOSFET. ....	14
Figura 6 - Curva de trabalho $I_d \times V_{gs}$ do MOSFET. ....	15
Figura 7 - Classes de sensores fotoelétricos. ....	17
Figura 8 - Símbolo e exemplos de fotodiodos. ....	18
Figura 9 - Fotodiodo diodo avalanche.....	19
Figura 10 - Layout de um amplificador.....	20
Figura 11 – Circuito do comparador de tensão não-inversor. ....	20
Figura 12 – Gráfico da função de transferência do comparador de tensão não-inversor. ....	21
Figura 13 – Gráfico de bit no tempo sem bit de paridade. ....	22
Figura 14 – Gráfico de bit no tempo com bit de paridade.....	23
Figura 15 - Tabela ASCII de sinais gráficos. ....	24
Figura 16 - Hardware do Arduino UNO.....	25
Figura 17 - Hardware do Arduino NANO.....	26
Figura 18 - Hardware do Arduino MEGA 2560.....	27
Figura 19 - Esquema ilustrativo de aplicação do protótipo. ....	29
Figura 20 - Fluxograma do circuito de emissão. ....	30
Figura 21 – Lâmpada de LED utilizada no emissor.....	31
Figura 22 – Esquema Elétrico do Transmissor.....	32
Figura 23 – Placa do circuito transmissor montada.....	33
Figura 24 - Fluxograma de programa do microcontrolador transmissor.....	34
Figura 25 - Fluxograma de Aplicação. ....	35
Figura 26 – Interface do aplicativo desenvolvido. ....	36
Figura 27 - Fluxograma do Receptor.....	38

Figura 28 - Espectro Óptico de respostas dos LEDs. ....	39
Figura 29 – Esquema de medição para fotodiodos.....	39
Figura 30 – Gráfico de dados coletados para diversos modelos de fotodiodos em 10K Ohms.....	40
Figura 31 – Variação de sinal de sensor BPW21R para a medição em 100kΩ. ....	41
Figura 32 – Diagrama de fluxo de informação no receptor.....	42
Figura 33 – Esquema elétrico e circuito montado. ....	42
Figura 34 – Resposta a claro/ escuro.....	43
Figura 35 – Sinal em 1KHz. ....	43
Figura 36 – Faixa de detecção de nível do microcontrolador.....	44
Figura 37 – Placas Shields para o receptor. ....	45
Figura 38 – Protótipo de circuito transmissor. ....	45
Figura 39 – Esquema elétrico do receptor .....	46
Figura 40 - Placa com circuito receptor montado.....	46
Figura 41 – Esquema elétrico de novo circuito receptor. ....	47
Figura 42 – Sinal coletado no receptor.....	48
Figura 43 – Montagem do circuito receptor. ....	48
Figura 44 – Esquema elétrico de simplificação.....	49
Figura 45 – Placa do circuito de recepção.....	49
Figura 46 - Envio de caractere A e B no receptor. ....	50
Figura 47 - Verificação da frequência da interferência do ruído.....	51
Figura 48 - Sinal após amplificação e capacitor (capacitores desajustados). ....	51
Figura 49 - Sinal após o circuito de integração (sinal verde) comparado com a saída (sinal amarelo). ....	52
Figura 50 – Sensor acoplado a caixa de blindagem.....	53
Figura 51 - Com as lâmpadas tubulares de reator ligadas (ruído de 120Hz).....	53
Figura 52 - Com as lâmpadas tubulares de reator desligadas.....	54
Figura 53 – Camada de folha de cobre aplicada sobre o receptor. ....	54
Figura 54 - Esquema Elétrico do Receptor.....	55
Figura 55 - Sem e com blindagem.....	56
Figura 56 – Fluxograma de rotina principal do Firmware para o receptor.....	57

Figura 57 – Fluxograma de rotina de acionamentos do Firmware para o receptor. ....	58
Figura 58 - Montagem do hardware proposto, receptor abaixo e transmissor acima.....	60
Figura 59 – Transmissor acoplado em sua caixa. ....	61
Figura 60 – Transmissor acoplado em sua caixa. ....	61
Figura 61 – Esquema de aplicação de potência com o receptor. ....	62
Figura 62 – Receptor acoplado em sua caixa. ....	63
Figura 63 – Tomadas de conexão das fontes no receptor. ....	63
Figura 64 – Esquema de aplicação de display com o receptor. ....	64
Figura 65 – Display posicionado na caixa do receptor. ....	65
Figura 66 – Disposição dos componentes do receptor. ....	65
Figura 67 – Sistema de medição com variação de perímetro. ....	66
Figura 68 – Sistema de medição alinhada. ....	67

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Frequências utilizadas pelos dispositivos de comunicação RF wireless.....	5
Tabela 2 - Especificações dos Fotodiodos Seleccionados.....	41

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

IoT - Internet of Things

LED - Light Emitting Diode

OWC - Optical Wireless Communication

VLC - Visible Light Communication

ISM - Industrial Scientific and Medical

FCC - Federal Communications Commission

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

ASCII - American Standard Code for Information Interchange

VCC - Tensão de Corrente Contínua

bps - bits por segundo

OOK - On-Off Keying

WLAN - Wireless Local Area network

cm – centímetros

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos .....	2
1.1.1 Objetivo geral.....	2
1.1.2 Objetivos específicos .....	2
2. REVISÃO CONCEITUAL .....	3
2.1 VLC .....	3
2.1.1 Histórico.....	3
2.2 Meios de Comunicação sem Fio .....	5
2.2.1 Bluetooth.....	6
2.2.2 WLAN /PWLAN em 2.4GHz.....	7
2.2.3 WLAN /PWLAN em 5GHz.....	8
2.3 Modulação.....	9
2.3.1 Modulação analógica .....	10
2.3.2 Modulação digital .....	10
2.3.2.1 Marcação on-off (OOK) .....	11
3. REVISÃO DA LITERATURA .....	13
3.1 Transistor.....	13
3.1.1 Transistores MOSFETs.....	13
3.2 LED .....	15
3.3 Sensor .....	17
3.3.1 Fotodiodos.....	17
3.4 Amplificadores .....	19
3.4.1 Comparador de Tensão .....	20
3.5 Comunicação Serial.....	21
3.5 Microcontrolador: Arduino .....	24
4. DESENVOLVIMENTO .....	28
4.1 Design do sistema.....	28
4.2.3 Esquema Elétrico do Transmissor .....	31

4.2.4 Placa de Circuito Transmissor Montada .....	33
4.2.5 Especificações do Hardware Transmissor .....	33
4.2.6 Firmware do Transmissor .....	33
4.2.7 Aplicativo.....	34
4.3 Circuito Receptor .....	37
4.3.3 Etapas de desenvolvimento do circuito receptor .....	42
4.3.4 Blindagem do Circuito Receptor .....	52
4.3.5 Esquema elétrico do sistema de recepção .....	55
4.3.6 Placa do Circuito Receptor Montada .....	56
4.3.7 Especificação do Hardware de Recepção .....	56
4.3.8 Firmware do Receptor.....	56
4.4 Testes do Sistema Experimental .....	59
4.4.1 Metodologia .....	59
4.4.2 Montagem .....	59
4.4.2.1 Transmissor .....	60
4.4.2.2 Receptor.....	62
4.4.3 Resultados .....	66
5. CONCLUSÕES .....	68
5.1 Trabalhos Futuros.....	69
6. REFERÊNCIAS .....	70
APÊNDICE A – Código do Firmware de Transmissor.....	73
APÊNDICE B – Código do Firmware do Receptor .....	76
APÊNDICE C – Lista de Componentes Utilizados.....	76
APÊNDICE D – Layout do Transmissor/ Receptor.....	86
APÊNDICE E – Tabela de dados coletados .....	87
ANEXO A – Datasheet do fotodiodo BPW21R.....	95

## 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da popularidade e oferta de produtos de consumo munidos de comunicação sem fio *wireless*, a chamada internet das coisas IoT - *internet of things*, cresce o número de equipamentos do dia-a-dia conectados diretamente à internet, tais como SMART-TV, E-Readers. De fato, analistas estimam que em 2020 existam 20,8 bilhões de dispositivos interligados, representando um aumento de 22 vezes em relação a 2009 (R.Want,2015).

Esta comunicação exige continuamente envio de sinais, porém, as desvantagens espectrais e de largura de banda da comunicação RF motiva o uso da banda visível para fins de comunicação, denominado (VLCs - *visible light communication*) (State of the Art, 2015).

Em paralelo, torna-se cada vez mais fácil adquirir módulos de eletrônica embarcada para o público do costumeiramente denominado "faça você mesmo", em especial os com o intuito de controlar aparelhos antes não conectados via internet (LUTHER,2005), por exemplo abajur, rádio, cafeteiras. Entre estes módulos pode-se citar um chamado SONOFF, trata-se de uma chave de ligar e desligar via wireless, qualquer aparelho ligado entre ele e a rede AC, assim o usuário pode via *smart-fone* acessar uma página web, monitorar o funcionamento do equipamento em que ele está associado, liga-lo ou desliga-lo.



## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem como objetivo geral propor um protótipo de circuito transmissor e receptor de dados via luz de LED visível, uma comunicação unidirecional *indoor* para o acionamento ON/OFF de equipamentos comuns destes ambientes.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Tem como objetivo específico:

- Caracterizar o uso do sensor (fotodiodo) para luz LED branca do circuito receptor;
- Desenvolver a comunicação Simplex via luz de LED em uma distância usual para ambientes internos residenciais/comerciais.

## 2. REVISÃO CONCEITUAL

### 2.1 VLC

A comunicação por luz visível (VLC) pode ser considerada um caso especial das comunicações ópticas sem fio (*Optical Wireless Communications* - OWC), já que essa utiliza uma pequena região do espectro de frequência, correspondente ao espectro visível, para carregar informação.

#### 2.1.1 Histórico

A utilização de luz visível com a finalidade de comunicação existe desde de 700 a.C. através de fogueiras e sinais de fumaça. **A Ilíada**, poema épico escrito por Homero cerca de 700 a.C. e que descreve os acontecimentos da Guerra de Tróia, contém as primeiras referências sobre o uso de faróis de fogo ou de fumaça para fins militares. Os faróis para comunicação com os barcos e a utilização da luz do sol para gerar a reflexão também se consolidam nesta classificação (FILHO, 2015).

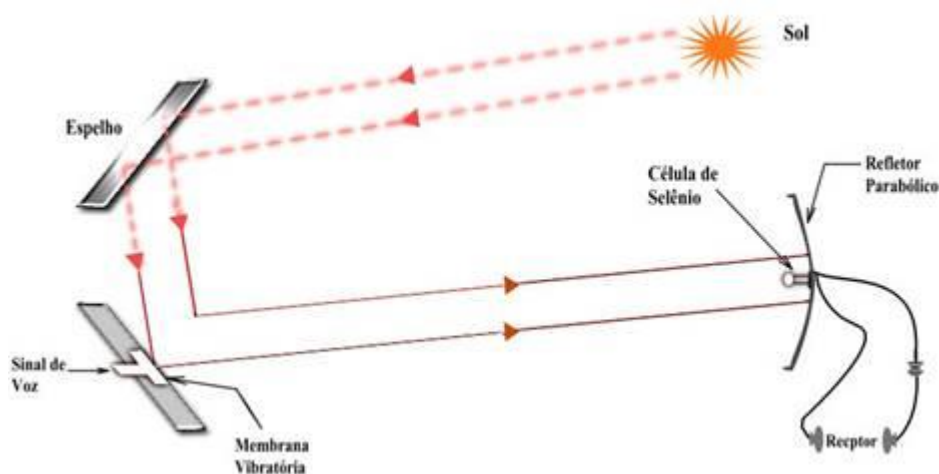
Apesar da luz ter sido utilizada desde a antiguidade para transmitir informações a longas distâncias, o sistema de comunicação era capaz de transmitir apenas um único bit de informação, e isso era de longe o meio mais rápido de transmitir informações sobre eventos importantes a localidades afastadas. Essas mensagens podiam ser enviadas a distâncias da ordem de quilômetros em questão de minutos.

Em 1791, o francês Claude Chappe (1763-1805) criou o telégrafo óptico. Em essência, um telégrafo óptico é uma ferramenta que consiste de um aparelho localizado a uma distância visual de outro dispositivo similar. O operador controla a orientação do “braço”, que colocam os elementos do telégrafo (Figura 1) em uma posição reconhecível pela próxima torre. Isso repete a mensagem, que é lida e reproduzida por um terceiro, e assim por diante, podendo propagar a informação a longas distâncias em um tempo muito mais curto do que o exigido por um mensageiro a cavalo. Um livro

com orientações de sinalização foi criado para codificar letras do alfabeto, numerais e palavras comuns. (STANDAGE, 1998)

Em 1880, foi criado por Graham Bell e Charles Tainter o fotofone. Este sistema faz a transmissão de voz (ondas acústicas) utilizando a luz solar modulada que incide sobre um diagrama refletor, permitindo assim que o som seja transmitido por um feixe de luz. Trata-se de um dos primeiros sistemas de comunicação óptica a utilizar detectores eletrônicos. (AL-AZZAWI, 2007)

Figura 1 - Esquema do fotofone inventado com transmissão no espaço livre acima de 200 metros.



Fonte: (BOPUCHET, 2006)

Com o fotofone foi possível realizar a transmissão de voz a uma distância de 213 metros. (BELL, 1880)

## 2.2 Meios de Comunicação sem Fio

Atualmente, a maioria dos dispositivos *wireless* faz o uso das faixas de frequência ISM. As faixas de frequência ISM (*Industrial Scientific and Medical*) são bandas reservadas internacionalmente para o desenvolvimento industrial, científico e médico.

Em 1985 o FCC (*Federal Communications Commission*), que é um órgão regulador da área de telecomunicações e radiodifusão fundado em 1934, nos Estados Unidos, desvencilhou parte do espectro de frequência para desenvolvimentos livres, sem a necessidade de licenciamento de utilização de frequência, e introduziu normas para limitação de potência de transmissão e técnicas de modulação dentro destas faixas.

Os serviços de radiocomunicação operando nestas faixas de frequência devem aceitar a interferência prejudicial que possa resultar de dispositivos operando nesta mesma faixa. A confiabilidade das comunicações de dados não pode ser assegurada com técnicas simples, porque não existem restrições ao número de transmissores, nem existem protocolos definidos. Na banda ISM os dispositivos têm que compartilhar o espaço com outros serviços, e a existência de outras fontes potenciais de interferência podem ser inevitáveis.

Tabela 1 - Frequências utilizadas pelos dispositivos de comunicação RF wireless

<b>Bandas ISM</b>	<b>Limite de Potencia (Watts)</b>
<b>902 - 928 Mhz</b>	
Telefone sem Fio	1 W
Forno microondas	750 W
Aquecedores Industriais	100 kW
Radares Militares	1000 kW
<b>2.4 - 2.4835 Ghz</b>	
Bluetooth	100 mW
Wi-Fi - 802.11b/g	1 W
Forno microondas	900 W
<b>5 GHz</b>	
5.725 - 5.825 GHz	4 W
Wi-Fi - 802.11a/n/ac	4 W

Fonte: (McDermott-Wells, 2004)

Na tabela 1 pode-se observar que é realizada a especificação de potência dos equipamentos e suas respectivas bandas ISM. Dentre os citados, vale destacar:

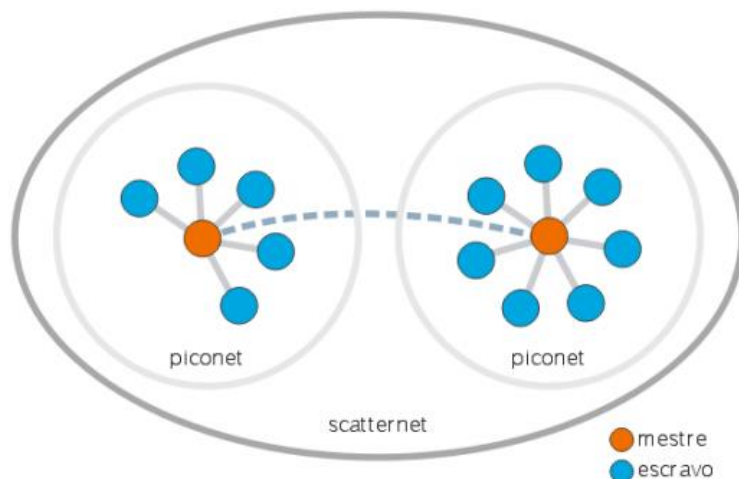
### 2.2.1 Bluetooth

Bluetooth é uma especificação industrial para *Personal Area Networks* (PANs), também conhecido como IEEE 802.15.1., e foi preliminarmente esboçado com a finalidade de desenvolver dispositivos interconectáveis através de frequências de rádio de curto alcance (1 a 100 metros, de acordo com a categoria do equipamento), com baixo custo e consumo de energia, oferecendo uma forma de conectar e trocar informações entre dispositivos como telefones celulares, laptops, PCs, impressoras, câmeras digitais, PDAs, dentre outros (McDermott-Wells, 2004).

Se dois dispositivos que possuem a especificação Bluetooth estiverem um ao alcance do outro poderá ocorrer a troca de informações entre eles, encontrando-se ou no mesmo ambiente. A transferência de dados e de voz varia em muitos dispositivos Bluetooth dependendo de requisitos como quantidade de energia necessária na transmissão, taxa de transferência e distância.

Uma das grandes vantagens da utilização de Bluetooth é a possibilidade de criar PANs de forma *ad-hoc*, ou seja, um dispositivo que entra ao alcance de outro, automaticamente se conecta e estes constituem uma PAN. Neste contexto, um dispositivo recebe o papel de mestre, enquanto que os outros recebem o papel de escravo. A este conjunto de mestre e escravos dá-se o nome de *piconet*. Cada *piconet* pode ter até 8 dispositivos. Quando duas *piconets* se conectam, através de um dispositivo em comum, forma-se a chamada *scatternet*, como pode-se observar na figura 2. Outra característica marcante na especificação Bluetooth é a segurança. Através de mecanismos como frequency hopping, autenticação de códigos PIN (*Personal Identification Number*) e criptografia de 128 bits garante-se comunicação segura e livre de interferências entre dispositivos Bluetooth (Wikipedia, 2012).

Figura 2 - Uma scatternet formada de duas *piconets*



Fonte: Chomienne, D. Eftimakis, M. Bluetooth Tutorial. Disponível em: <[www.newlogic.com/products/Bluetooth-Tutorial-2001.pdf](http://www.newlogic.com/products/Bluetooth-Tutorial-2001.pdf)>. Último acesso em 25 de março de 2018.

A arquitetura Bluetooth consiste basicamente de dois componentes: um *transceiver* (hardware) e uma pilha de protocolos (*software*). Esta arquitetura oferece serviços e funcionalidades básicas que tornam possível a conexão de dispositivos e a troca de uma variedade de tipos de dados entre estes dispositivos. A frequência utilizada por dispositivos Bluetooth opera em uma faixa de rádio não licenciada ISM (industrial, *scientific*, medical) entre 2.4 GHz e 2.485 GHz. O sistema emprega um mecanismo denominado *frequency hopping*, que “salta” constantemente de frequência para combater interferência e enfraquecimento do sinal. A cada segundo são realizados 1600 saltos de frequência. A taxa de transmissão pode alcançar 1 Megabit por segundo (Mbps) ou, com o mecanismo *Enhanced Data Rate*, recentemente introduzido na última especificação Bluetooth, a 2 ou 3 Mbps (Chomienne, 2001).

### 2.2.2 WLAN /PWLAN em 2.4GHz

A WLAN (Wireless Local Area Network), foi inicialmente implantada na frequência de 900MHz, no entanto, a faixa utilizada em 900MHz possuía dois limitantes graves para a expansão do WLAN. O primeiro era a largura de 26MHz, que limitava o número de usuários e suas taxas de transmissão. O segundo estava relacionado com a

quantidade de outros serviços utilizando a mesma faixa, ou seja, além da interferência dos usuários do próprio WLAN em 900MHz, várias outras fontes de interferência acabavam dificultando a operação dos computadores com tecnologia sem fio, tornando a qualidade do serviço impraticável.

Com os limitantes apresentados na faixa de 900MHz, a demora na utilização de uma outra faixa poderia implicar no fracasso comercial de tais sistemas. Dessa forma, o IEEE desenvolveu um padrão conhecido como 802.11b, operando na faixa de 2.4GHz, inserindo no lugar do *Frequency Hopping* o *Direct Sequence* que aumentou a eficiência espectral elevando as taxas de dados até 11Mbit/s, mas com valores médios reais de 4Mbit/s até 6Mbit/s na transmissão das informações dos usuários em ambientes *indoor* e taxas menores que 4Mbit/s para ambientes *outdoor*. Os equipamentos 802.11b, também são conhecidos como Wi-Fi, marca promovida pela Wireless Ethernet Compatibility Alliance - WECA, organização sem fins lucrativos, criada em 1999, em Santa Clara, nos EUA (FRIEDMAN;EDWARD;MILLER,2004).

Outro padrão começa a aparecer no cenário de 2.4GHz, apresentando uma evolução na transmissão de dados, o IEEE 802.11g, que alcança uma taxa de 54Mbit/s. Suas principais vantagens estão relacionadas com o aumento da eficiência espectral, minimização das interferências e baixa distorção por multi-percurso.

Os equipamentos 802.11g possuem compatibilidade com os 802.11b, fornecendo facilidades para executar um *up-grade* em uma rede já em operação, pois computadores com o novo padrão podem ser adicionados à rede sem a necessidade de troca das placas dos demais computadores, sendo possível trabalharmos com alguns PC's em 11Mbit/s e outros com 54Mbit/s.

### **2.2.3 WLAN /PWLAN em 5GHz**

O futuro do WLAN /PWLAN está na evolução dos equipamentos para a faixa de 5GHz que apresenta uma maior banda, com melhores condições para transmissão e taxas que podem variar de 20Mbit/s até 54Mbit/s, em conjunto com um maior número de usuários, além de minimizar os problemas relacionados com interferências e qualidade de serviço (QoS) apresentados nas faixas de 900MHz e 2.4GHz.

Nessa nova faixa podemos observar um sinal com baixa capacidade de ultrapassar obstáculos, além de uma rápida atenuação com a distância da fonte transmissora, facilitando a reutilização da mesma frequência por vários usuários em distâncias que ultrapassem 30 metros, ou por usuários em salas diferentes separados apenas por paredes em um mesmo andar.

## 2.3 Modulação

Em telecomunicações, a modulação é a alteração de um sinal eletromagnético gerado inicialmente, antes de ser irradiado, de forma que este transporte informação sobre uma onda portadora, que pode ser citada como um sinal senoidal caracterizado por três variáveis: amplitude, frequência e fase.

A amplitude é a medida da altura da onda para tensão positiva ou para tensão negativa. Também definida como crista da onda, a amplitude do sinal digital é igual a diferença da tensão para o degrau entre 0 e 1. Iniciando na tensão zero, a onda cresce atinge a amplitude, decresce, se anula, atinge sua amplitude negativa e volta a crescer até se anular novamente, compondo um ciclo (FRIEDMAN;EDWARD;MILLER,2004).

O transmissor adiciona a informação numa onda básica de tal forma que poderá ser recuperada na outra parte por meio de um processo reverso chamado demodulação. A maioria dos sinais, da forma como são fornecidos pelo transmissor, não pode ser enviada diretamente pelos canais de transmissão. Consequentemente, é necessário modificar esse sinal através de uma onda eletromagnética portadora, cujas propriedades são mais convenientes aos meios de transmissão. A modulação é a alteração sistemática de uma onda portadora de acordo com a mensagem (sinal modulante), e pode incluir também uma codificação. Portanto, é a técnica na qual as características da portadora (sinal que é modulado) são modificadas com a finalidade de transmitir informações.

Existem dois tipos de modulação: analógica e digital. A modulação pode alterar a amplitude da onda (modulação em amplitude AM), ou sua frequência (modulação em frequência FM), ou sua fase (modulação por deslocamento de fase), ou ainda combinar várias dessas alterações. No entanto, daremos ênfase a modulação digital por ser a utilizada neste projeto.



### 2.3.1 Modulação analógica

Também classificada como modulação de onda contínua, na qual a portadora é uma onda cosenoidal, e o sinal modulante é um sinal analógico ou contínuo. As técnicas de modulação para sinais analógicos mais utilizadas são a Modulação em Amplitude - AM, Modulação em Frequência - FM e Modulação em Fase - PM.

### 2.3.2 Modulação digital

A modulação digital é utilizada quando necessita-se transmitir uma forma de onda ou mensagem oriunda de um conjunto finito de valores discretos representando um código.

A principal diferença entre os sistemas de comunicação de dados digitais e analógicos (dados contínuos), é que no primeiro caso, ocorre a transmissão e detecção de uma dentre um número finito de formas de ondas conhecidas, enquanto nos sistemas analógicos há um número infinitamente grande de mensagens cujas formas de onda correspondentes não são todas conhecidas. As principais técnicas de modulação para sinais digitais estão listadas em sequência, sendo destacada a OOK (*ON-OFF Key*) (a modulação utilizada neste projeto):

#### **Por pulso:**

Nesta técnica uma amostra da forma de onda é tomada a intervalos regulares. Há uma variedade de esquemas de modulação por pulso, são elas:

- Modulação em amplitude de pulso (PAM);
- Modulação em código de pulso (PCM);
- Modulação de posição de pulso (PPM);
- Modulação por largura de pulso (PWM).

**Por chaveamento:**

- Modulação em amplitude por chaveamento (ASK - Amplitude Shift-Keying);
- Modulação em frequência por chaveamento (FSK - Frequency Shift-Keying);
- Modulação em fase por chaveamento (PSK - Phase Shift- Keying);
- Marcação on-off (OOK).

**2.3.2.1 Marcação on-off (OOK)**

A marcação on-off (OOK) denota a forma mais simples de modulação por deslocamento de amplitude (ASK) que representa dados digitais na presença ou ausência de uma onda portadora. Em sua forma básica, a presença de uma portadora por uma duração específica representa uma variável binária, enquanto sua ausência para a mesma duração representa um zero binário, conforme Figura 3. Alguns esquemas mais sofisticados variam essas durações para transmitir informações adicionais. É análogo ao código de linha de codificação unipolar.

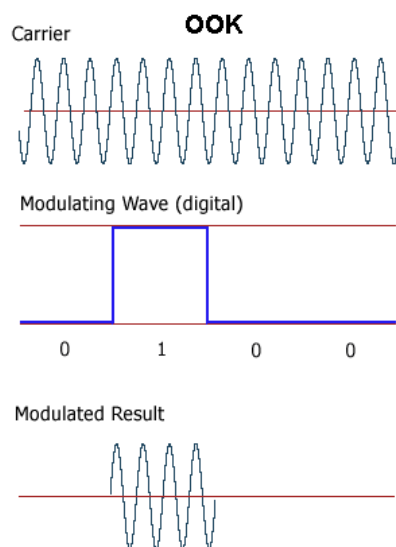
A chave liga-desliga é mais comumente usada para transmitir código Morse através de frequências de rádio (conhecida como operação CW (onda contínua)), embora, em princípio, qualquer esquema de codificação digital possa ser usado. OOK foi usado nas bandas ISM para transferir dados entre computadores, por exemplo.

A técnica OOK é mais eficiente espectralmente do que o chaveamento de desvio de frequência, no entanto, apresenta maior sensibilidade a ruído ao usar um receptor regenerativo ou um receptor super-heteródino mal implementado. Para uma dada taxa de dados, a largura de banda de um sinal BPSK (digitação de mudança de fase binária) e a largura de banda do sinal OOK são iguais.

Além das ondas portadoras de RF, o OOK também é usado em sistemas de comunicação óptica (por exemplo, IrDA).

Na aviação, alguns aeroportos possivelmente não tripulados possuem equipamentos que permitem que os pilotos teclem seu rádio VHF várias vezes, a fim de solicitar uma transmissão do Serviço de Informação de Terminal Automático, ou acender as luzes da pista.

Figura 3 - Escopo de processo de modulação OOK.



Fonte: <https://www.edaboard.com/showthread.php?300713-help-about-modulate-OOK>, último acesso em 14 de abril de 2018.

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Transistor

O transistor é um componente eletrônico que começou a se tornar popular na década de 1950, sendo o principal responsável pela revolução da eletrônica na década de 1960.

O nome se origina do inglês *transfer resistor* (resistor/resistência de transferência), como era conhecido pelos seus inventores. São utilizados principalmente como amplificadores e interruptores de sinais elétricos, além de retificadores elétricos em um circuito, podendo ter variadas funções. Existem diversos tipos de transistores, no entanto iremos focar em um tipo, os transistores MOSFET.

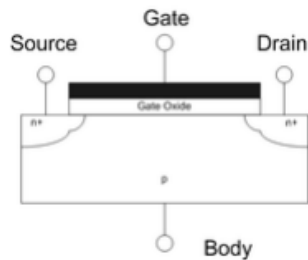
##### 3.1.1 Transistores MOSFETs

Transistor MOSFET (abreviação de Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) ou transistor de efeito de campo de semicondutor de óxido metálico é o tipo de transistor de efeito de campo mais utilizado em circuitos digitais e analógicos. Seu princípio básico foi proposto pela primeira vez por Julius Edgar Lilienfeld, em 1925.

A palavra "metal" no nome deriva dos primeiros chips, cujas portas (*gates*) eram de metal. Os chips modernos usam comportas de polisilício, mas ainda são chamados de MOSFETs. Um MOSFET é composto de um canal de material semicondutor de tipo N ou de tipo P e é chamado respectivamente de NMOSFET ou PMOSFET. Geralmente, o semicondutor escolhido é o silício, mas alguns fabricantes utilizam uma mistura de silício e germânio (SiGe) nos canais dos MOSFETs.

Infelizmente muitos semicondutores com melhores propriedades elétricas do que o silício, tais como o arsenieto de gálio, não formam bons óxidos nas portas e, portanto, não são adequados para os MOSFETs. Na Figura 4 segue esquema estrutural básico de um MOSFET tipo N. (BOYLESTAD, 2004)

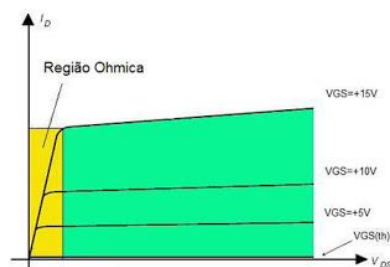
Figura 4 - Corte transversal de MOSFET tipo N.



Fonte: (BOYLESTAD, 2004)

O terminal de comporta é uma camada de polissilício (silício policristalino) colocada sobre o canal, mas separada por uma fina camada de dióxido de silício isolante. Quando uma tensão é aplicada entre os terminais comporta (*gate*) e fonte (*source*), o campo elétrico gerado penetra por meio do óxido e cria uma espécie de "canal invertido" no canal original abaixo dele. O canal invertido é do mesmo tipo P ou tipo N, como o da fonte ou do dreno, assim, ele cria um condutor através do qual a corrente elétrica possa passar. Variando-se a tensão entre a comporta e a fonte se modula a condutividade dessa camada e torna possível controlar o fluxo de corrente entre o dreno e a fonte. Polarizado na região ôhmica o MOSFET equivale a um resistor e polarizado na região ativa, ele é equivalente a uma fonte de corrente. (MALVINO,1997)

Figura 5 - Curva característica do MOSFET.

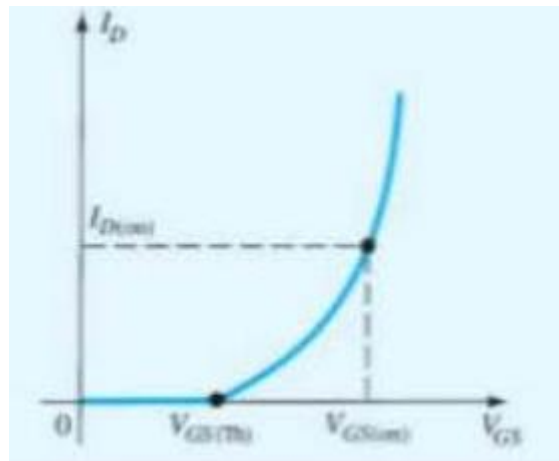


Fonte: (BOYLESTAD, 2004)

A Figura 5 define a curva de transcondutância, enquanto  $V_{GS}$  não for igual a  $V_{GS(th)}$  não haverá corrente no dreno. Após atingir  $V_{GS(th)}$  a corrente de dreno

aumenta rapidamente até atingir a corrente de saturação  $I_{D(\text{saturação})}$ . Depois desse ponto o MOSFET fica polarizado na região ôhmica, mesmo aumentando  $V_{GS}$  a corrente  $I_D$  não aumenta. Para garantir a saturação forte, é usada uma tensão na porta de  $V_{GS(\text{on})}$  bem acima de  $V_{GS(\text{th})}$  conforme a Figura 6.

Figura 6 - Curva de trabalho  $I_D$  x  $V_{GS}$  do MOSFET.



Fonte: (BOYLESTAD, 2004)

### 3.2 LED

O diodo emissor de luz também é conhecido pela sigla em inglês LED (Light Emitting Diode). Sua funcionalidade básica é a emissão de luz em locais e instrumentos onde se torna mais conveniente a sua utilização ao invés de uma lâmpada. Especialmente utilizado em produtos de microeletrônica, tal qual sinalizador de avisos, também pode ser encontrado em tamanho maior, como em alguns modelos de semáforos.

O LED é um diodo semicondutor (junção P-N), quando energizado emite luz visível, por isso é designado LED (Diodo Emissor de Luz). A luz não é monocromática (como em um laser), mas consiste de uma banda espectral relativamente estreita e é produzida pelas interações energéticas do electrão (português europeu) / elétron (português brasileiro). (BOYLESTAD, 2004)

O processo de emissão de luz pela aplicação de uma fonte elétrica de energia é chamado eletroluminescência. Em qualquer junção P-N polarizada diretamente, dentro da estrutura, próximo à junção, ocorrem recombinações de lacunas e elétrons. Essa recombinação exige que a energia possuída de elétrons, até então livre, seja liberada, o que ocorre na forma de calor ou fótons de luz.

No silício e no germânio, que são os elementos básicos dos diodos e transistores, entre outros componentes eletrônicos, a maior parte da energia é liberada na forma de calor, sendo insignificante a luz emitida (devido a opacidade do material), e os componentes, que trabalham com maior capacidade de corrente, chegam a precisar de irradiadores de calor (dissipadores) para ajudar na manutenção dessa temperatura em um patamar tolerável.

Já em outros materiais, como o arsenieto de gálio (GaAs) ou o fosfeto de gálio (GaP), o número de fons de luz emitido é suficiente para constituir fontes de luz bastante eficientes. A forma simplificada de uma junção P-N de um LED demonstra seu processo de eletroluminescência. O material dopante de uma área do semicondutor contém átomos com um elétron a menos na banda de valência em relação ao material semicondutor.

Na ligação, os íons desse material dopante (íons "aceitadores") removem elétrons de valência do semicondutor, deixando "lacunas" (ou buracos), portanto, o semicondutor torna-se do tipo P. Na outra área do semicondutor, o material dopante contém átomos com um elétron a mais do que o semicondutor puro em sua faixa de valência. Portanto, na ligação esse elétron fica disponível sob a forma de elétron livre, formando o semicondutor do tipo N.

A velocidade de chaveamento de um LED é estabelecida pela constante de tempo de recombinação. Dependendo do design, o tempo de subida, *rise time*, pode variar entre 1e100ns (FRIEDMAN;EDWARD;MILLER,2004), o que significa que os LEDs podem alcançar frequências de até centenas de MHz.

### 3.3 Sensor

Um sensor é um dispositivo que responde a um estímulo físico/químico de maneira específica e que pode ser transformado em outra grandeza física para fins de medição e/ou monitoramento. Desta forma, o sensor associado a um módulo de transformação do estímulo em uma grandeza para fins de medição e/ou monitoramento pode ser definido como transdutor ou medidor, que converte um tipo de energia em outro. (BOYLESTAD, 2004)

#### 3.3.1 Fotodiodos

Os Fotodiodos são sensores fotoelétricos que têm a finalidade de converter um sinal luminoso em um sinal elétrico.

Anexo aos sensores fotoelétricos existem duas classes, são elas: os sensores fotocondutivos e os fotovoltaicos. Nos sensores fotocondutivos ocorre a variação da corrente do dispositivo de acordo como é exposto à luz (por exemplo, os LDRs); nos fotovoltaicos transcorre a produção de uma corrente dependente da luz incidente, como exemplifica a Figura 7.

Figura 7 - Classes de sensores fotoelétricos.



Disponível em: <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/4715-art1181>.

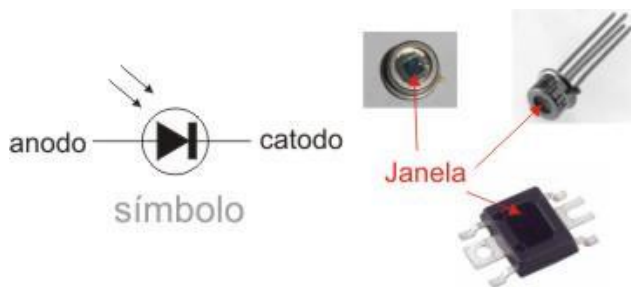
Acesso em: 14/10/2016.



Na escolha de um sensor fotoelétrico devem ser consideradas algumas propriedades para a melhor aplicação desejada, tais como, resposta espectral, sensibilidade, velocidade, dentre outras.

Os fotodiodos podem ser empregados tanto no modo fotovoltaico quanto no fotocondutivo. Quando a luz incide numa junção semicondutora, portadores de carga são liberados. Nessas condições temos a manifestação de dois fenômenos que podem ser utilizados na prática. Em um deles a resistência no sentido inverso da junção iluminada diminui e o outro aparece uma tensão no dispositivo. Se o sensor aproveitar a variação da resistência inversa com a luz no modo de operação, dizemos que ele opera no modo fotocondutivo. Se ele aproveitar a tensão gerada com a luz, afirmamos que ele opera no modo fotovoltaico (Figura 8).

Figura 8 - Símbolo e exemplos de fotodiodos.

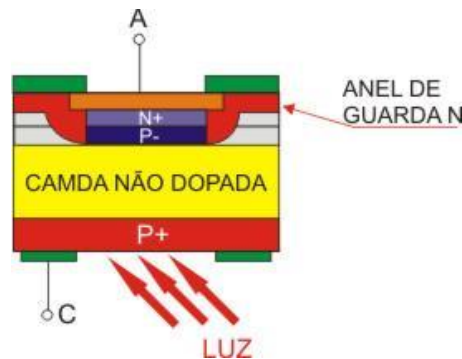


Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/4715-art1181>. Acesso em: 14/10/2016.

Uma característica importante dos diodos, entretanto, é a sua velocidade de resposta muito alta que permite detectar pulsos de luz ou sombra muito rápidos, alcançando frequências de dezenas ou mesmo centenas de mega-hertz.

Os fotodiodos são lineares numa ampla faixa de intensidades luminosas. No entanto, se o sistema eletrônico necessita de uma maior sensibilidade de sinal, indica-se o fotodiodo avalanche, com sua estrutura podendo ser observada na Figura 9.

Figura 9 - Fotodiodo diodo avalanche.



Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/4715-art1181>. Acesso em: 14/10/2016.

Esse diodo opera polarizado no sentido inverso perto do ponto de avalanche, quando poucos portadores de carga liberados provocam fortes correntes inversas.

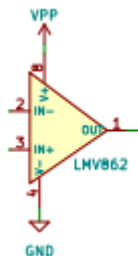
No momento que um fóton incide na região sensível ele libera um par elétron-lacuna que se desloca para a região não dopada. Nessa região, ele libera mais pares elétrons-lacuna num processo de avalanche que culmina com correntes muito mais intensas do que as obtidas por diodos comuns. Esse dispositivo não é linear, mas apresenta uma sensibilidade muito maior que os fotodiodos comuns.

### 3.4 Amplificadores

Amplificador é um equipamento que através do uso de uma pequena quantidade de energia controla uma montante maior. A relação entre a entrada e a saída de um amplificador — geralmente expressa em função da frequência de entrada — é denominada função de transferência do amplificador, e a magnitude da função de transferência é denominada de ganho. Na Figura 10 é explanado um amplificador modelo LMV862, onde, os pinos correspondem: (2) entrada, (3) entrada, (1) saída, (VPP) alimentação, (GND) terra.

Com os amplificadores pode-se formar diversas configurações para tratamento do sinal de entrada.

Figura 10 - Layout de um amplificador.



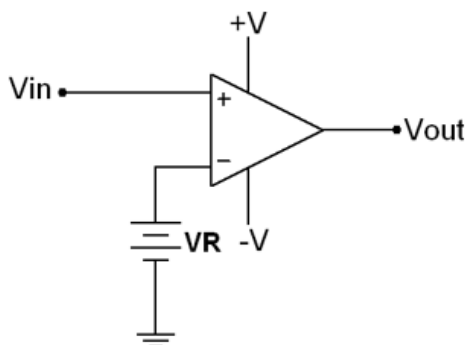
Fonte: autor.

### 3.4.1 Comparador de Tensão

São circuitos que utilizam Amplificador Operacional em malha aberta, sem realimentação, ou seja, com  $A_V \rightarrow \infty$ . O valor de  $V_o$  é determinado apenas pela alimentação do dispositivo.

Circuitos comparadores farão a comparação entre dois sinais distintos ou entre um sinal distinto e um de referência ( $V_R$ ). Se a diferença entre os sinais for positiva ( $V_+ - V_- > 0$ ), o dispositivo ficará saturado (devido à relação  $A_V \rightarrow \infty$ ) e forçará uma saída  $V_o \rightarrow +V$ , caso ocorra o inverso, devido a mesma saturação (em sentido inverso), a saída será  $V_o \rightarrow -V$ , onde  $\pm V$  são os valores da alimentação do AOP. Na Figura 11 está exposto o esquema elétrico do comparador não-inversor com  $V_R > 0$ .

Figura 11 – Circuito do comparador de tensão não-inversor.



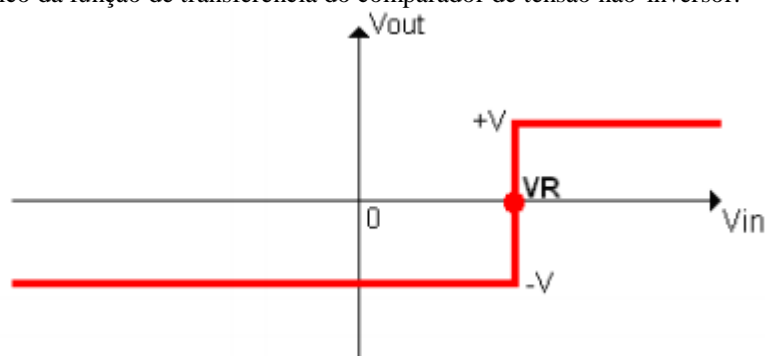
Disponível em: <http://projetoengcomp.blogspot.com/2010/09/sensores.html>. Acesso em: 22/03/2018.

A partir do circuito podemos concluir que:

$$se \begin{cases} V_{in} > V_R \Rightarrow V_{out} = +V \\ V_{in} < V_R \Rightarrow V_{out} = -V \end{cases}$$

Com essa conclusão, podemos construir um gráfico da função de transferência do circuito conforme a Figura 12:

Figura 12 – Gráfico da função de transferência do comparador de tensão não-inversor.



Disponível em: <http://projetoengcomp.blogspot.com/2010/09/sensores.html>. Acesso em: 22/03/2018.

### 3.5 Comunicação Serial

Comunicação serial é o método que envia dados, um bit de cada vez, sequencialmente, num canal de comunicação. Para este projeto utilizaremos o protocolo RS232.

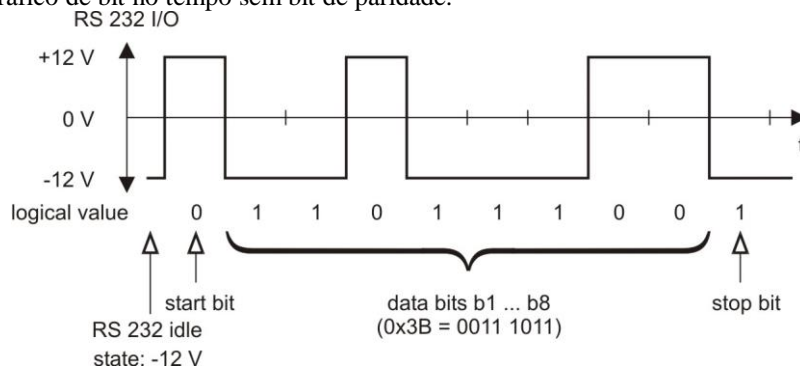
#### 4.2.6 Protocolo RS232

O RS232 é um método assíncrono de comunicação e utiliza o sistema binário (1 e 0) para transmitir dados em formato ASCII (American Standard Code for Information

Interchange), explicada mais adiante, e este código é capaz de traduzir um código legível pelos humanos (letras e números) em códigos legível pelos computadores (1 e 0).

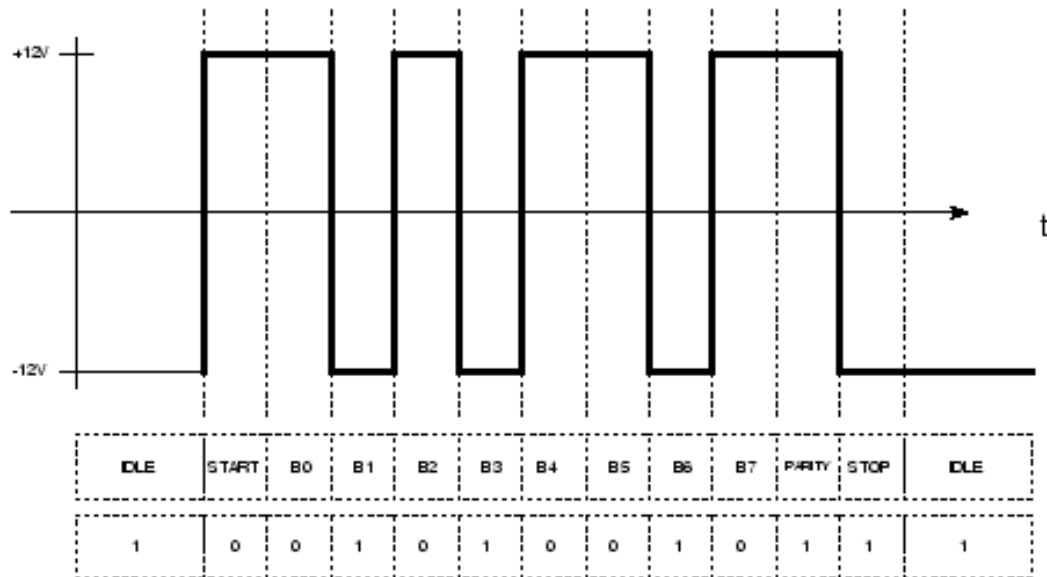
No protocolo de comunicação RS-232, caracteres são enviados um a um como um conjunto de bits. A codificação mais comumente usada é o "start-stop assíncrono" que usa um bit de início, seguido por oito bits de dados, possivelmente um bit de paridade (bit usado para detectar erros em transmissões), e um, 1,5 ou dois bits de paragem, sendo então necessários pelo menos 10 bits para enviar um único caractere. Tal fato acarreta a necessidade em dividir por um fator de dez a taxa de transmissão para obter a velocidade de transmissão. A Figura 13 mostra como esse sinal é enviado sem o bit de paridade e na Figura 14 com o bit de paridade.

Figura 13 – Gráfico de bit no tempo sem bit de paridade.



Disponível em: <http://dicas-da-info.blogspot.com/2012/10/o-que-e-bit-de-paridade.htm> 1. Acesso em: 03/04/2018.

Figura 14 – Gráfico de bit no tempo com bit de paridade



Disponível em: <http://dicas-da-info.blogspot.com/2012/10/o-que-e-bit-de-paridade.htm> l. Acesso em: 03/04/2018.

A codificação ASCII é usada para representar textos em computadores, equipamentos de comunicação, entre outros dispositivos que trabalham com texto. Desenvolvida a partir de 1960, grande parte das codificações de caracteres modernas a herdaram como base.

O ASCII codifica um conjunto de 128 sinais: 95 sinais gráficos (letras do alfabeto romano, sinais de pontuação e sinais matemáticos) e 33 sinais de controle, utilizando, portanto, apenas 7 bits para representar todos os seus símbolos. Na Figura 15, a tabela ASCII de sinais gráficos é apresentada. Os números binários correspondentes ao da tabela geram o sinal gráfico correspondente. Daí a importância do uso do bit de paridade, pois se ocorrer uma interferência no envio da informação o mesmo terá a função de evitar o recebimento incorreto do sinal.

Figura 15 - Tabela ASCII de sinais gráficos.

Tabela ASCII (códigos de caracteres 0 - 127)							
000		016 ►	032	048 0	064 @	080 P	096 `
001 ☉	017 ◀	033 !	049 1	065 A	081 Q	097 a	112 p
002 ☼	018 ‡	034 "	050 2	066 B	082 R	098 b	113 q
003 ♥	019 !!	035 #	051 3	067 C	083 S	099 c	114 r
004 ♦	020 ℥	036 \$	052 4	068 D	084 T	100 d	115 s
005 ♣	021 ₤	037 %	053 5	069 E	085 U	101 e	116 t
006 ♠	022 ■	038 &	054 6	070 F	086 V	102 f	117 u
007	023 ‡	039 '	055 7	071 G	087 W	103 g	118 v
008	024 ↑	040 (	056 8	072 H	088 X	104 h	119 w
009	025 ↓	041 )	057 9	073 I	089 Y	105 i	120 x
010	026 →	042 *	058 :	074 J	090 Z	106 j	121 y
011 ♂	027 ←	043 +	059 ;	075 K	091 [	107 k	122 z
012 ♀	028 L	044 ,	060 <	076 L	092 \	108 l	123 {
013	029 ↔	045 -	061 =	077 M	093 ]	109 m	124
014 ♪	030 ▲	046 .	062 >	078 N	094 ^	110 n	125 }
015 ☆	031 ▼	047 /	063 ?	079 O	095 _	111 o	126 ~
						112 p	127 △

Disponível em: <http://tiagoinf98.blogspot.com/2016/10/codificacao-de-caracteres.html>. Acesso em: 07/04/2018.

### 3.5 Microcontrolador: Arduino

Arduino é uma plataforma flexível *open-source* de para prototipagem eletrônica. É formado por dois componentes principais: hardware e software. O hardware é composto por uma placa de prototipagem, na qual são construídos os projetos. O software é uma IDE, que é executado em um computador onde é feita a programação, conhecida como sketch, na qual será feita upload para a placa de prototipagem Arduino, através de uma comunicação serial. O sketch feito pelo projetista dirá à placa o que deve ser executado durante o seu funcionamento.

A placa do Arduino é um pequeno circuito microcontrolado, onde é colocado todos os componentes necessários para que este funcione e se comunique com o computador. Para o projeto foram utilizadas as placas de Arduino UNO, MEGA e NANO.

### 4.2.7 Arduino UNO

Na Figura 16 é apresentada a placa Arduino Uno:

Figura 16 - Hardware do Arduino UNO.



Disponível em: <https://www.robotistan.com/arduino-uno-r3-clone-with-usb-cable-usb-chip-ch340>,  
Acesso em: 17 de abril de 2018.

Conforme visto na imagem, a placa Arduino UNO possui diversos conectores que servem para interface com o mundo externo. A seguir é dada uma explicação de como cada pino da placa pode ser utilizado. São 14 pinos de entrada e saída digital (pinos 0-13).

Esses pinos podem ser utilizados como entradas ou saídas digitais de acordo com a necessidade do projeto e conforme foi definido no sketch criado na IDE.

Possui pinos de entradas analógicas (pinos 0 - 5); esses pinos são dedicados a receber valores analógicos, por exemplo, a tensão de um sensor. O valor a ser lido deve estar na faixa de 0 a 5 V, os quais serão convertidos para valores entre 0 e 1023.

E pinos de saídas analógicas (pinos 3, 5, 6, 9, 10 e 11); são pinos digitais que podem ser programados para serem utilizados como saídas analógicas, usando modulação PWM.

A alimentação da placa pode ser feita a partir da porta USB do computador ou através de um adaptador AC. Para o adaptador AC recomenda-se uma tensão de 9 volts com pino redondo de 2,1 mm e centro positivo.

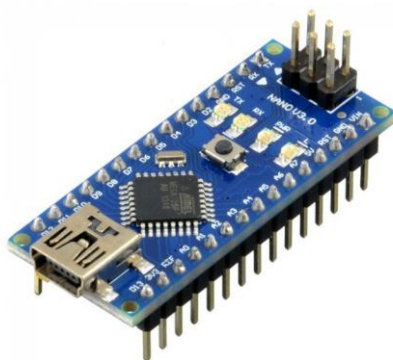


#### 4.2.8 Arduino NANO

A Placa Nano é uma versão para ser acoplada a uma protoboard com uma porta USB. Ela é a menor versão e a mais completa das placas compatíveis com a linha Arduino.

A Placa Nano pode ser usada diretamente na protoboard e a conexão mini USB maximiza o espaço restante. Ela tem uma disposição de pinos que funciona bem tanto com o mini ou com o Basic Stamp (TX, RX, ATN, GND em uma face e a alimentação e o terra na outra). Ela é uma placa de quatro camadas com planos para a alimentação e o terra para auxiliar a fornecer energia suficiente para os CIs durante o chaveamento, e reduzir o ruído (EMC) durante o chaveamento de alta velocidade dos pinos de entrada e saída. O plano do terra auxilia na redução de radiação (EMI). O plano de alimentação é de baixa indutância e assim quaisquer transientes, que possam surgir na linha de alimentação, serão de baixo nível. O mesmo é apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Hardware do Arduino NANO.



Disponível em: <https://core-electronics.com.au/nano-v3-0-board-arduino-nano-v3-0-compatible.html>.  
Acesso em: 14 de abril de 2018.

#### 4.2.9 Arduino MEGA 2560

O Arduino Mega 2560 é uma placa micro controladora baseada no ATmega2560. Possui 54 pinos de entrada / saída digitais (dos quais 15 podem ser usados como saídas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de hardware), um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, conector de alimentação, um conector ICSP, e um botão de reset (Figura 18).

Figura 18 - Hardware do Arduino MEGA 2560.



Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>. Acesso em: 14 de abril de 2018.

## 4. DESENVOLVIMENTO

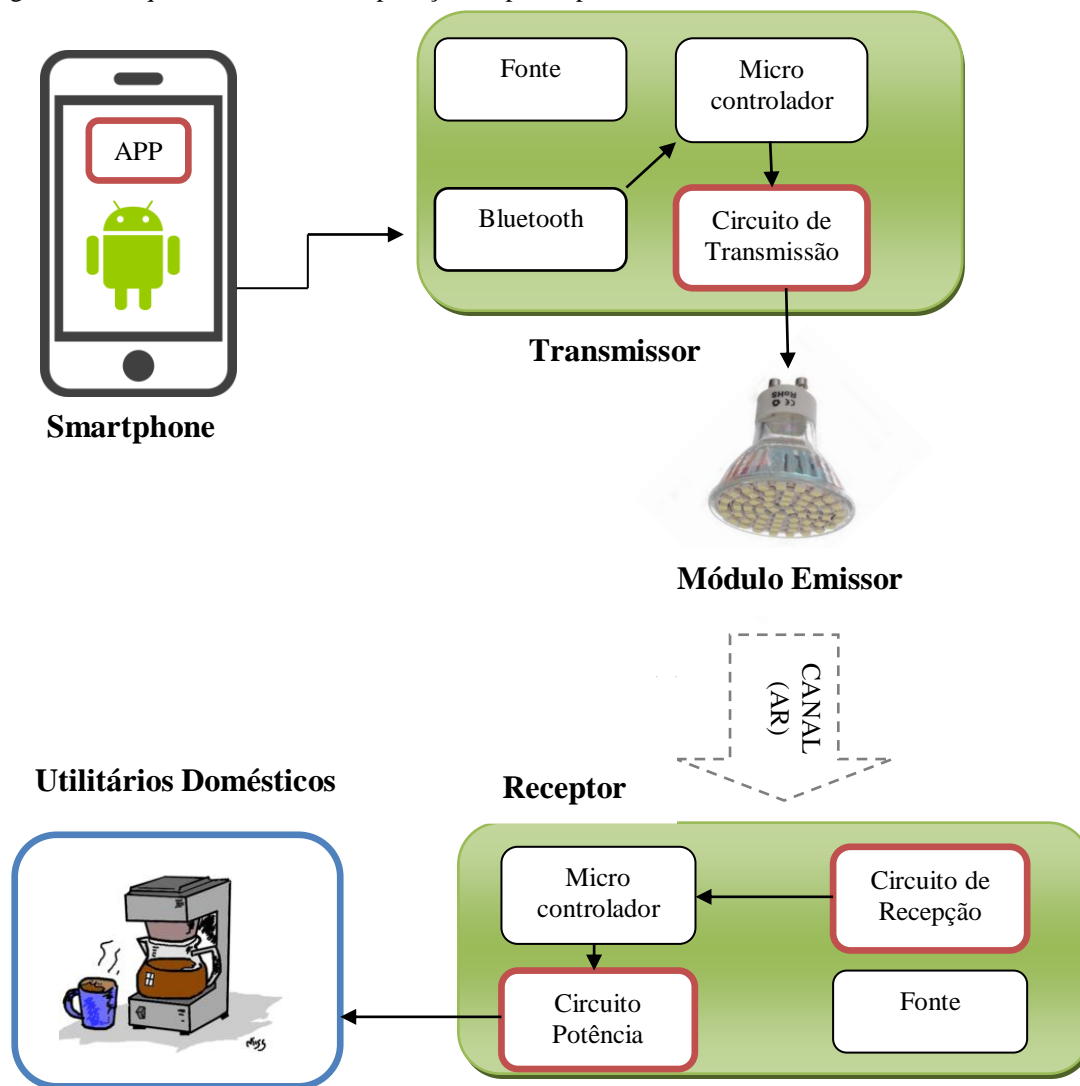
### 4.1 Design do sistema

O Sistema funciona da seguinte forma: pelo aplicativo via smartphone o usuário se conecta por Bluetooth ao Transmissor de Luz LED. Ao acionar um botão ou enviar um texto por escrito é realizado o envio da informação do smartphone para o módulo Bluetooth shield HC-05, amplamente comercializado. O microcontrolador processa estes dados recebidos via serial e modula por OOK esta informação, cortando a alimentação da luz de LED, sendo perceptível apenas uma sutil piscada na luz do emissor para o olho humano, neste ínterim a informação (Bytes) de zeros e uns foi transmitida a 104,167µs, voltando para seu estado e função normal de iluminação branco frio.

Com o circuito receptor posicionado na área de alcance luminoso do transmissor, a perturbação luminosa que esta na faixa espectral de 420nm á 675nm é captada pelo fotodiodo, que passa a conduzir uma corrente reversa, produzindo uma tensão por volta de [mV] miliVolts no circuito de recepção, passando esta variação por filtros de níveis DC até entrar no estágio de amplificação, comparação de tensão e ter por fim uma tensão da ordem de [V] Volts, tal qual o microcontrolador consiga realizar a leitura pela sua entrada serial da informação transmitida. Em um segundo estágio, ao interpretar os sinais [Bytes] zeros e uns, ele utiliza as informações esperadas para atuar no acionamento de circuitos de potência, ligando ou desligando dispositivos domésticos alimentado pela rede AC 127V ~ 220V. Podendo estender sua aplicação a N receptores, desde que estejam no alcance luminoso ou direcionados ao foco luminoso.

Estando em destaque os blocos contornados de vermelho, que se referem as partes desenvolvidas e apresentadas neste trabalho, sendo as demais encontradas como produtos de prateleiras. O diagrama de funcionamento do sistema pode ser observado na Figura 19.

Figura 19 - Esquema ilustrativo de aplicação do protótipo.



Fonte: autor.

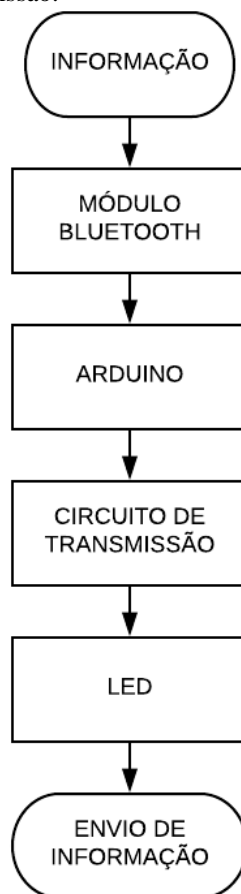
## 4.2 Circuito Transmissor

O circuito transmissor é o responsável pelo recebimento da informação enviada pelo smartphone via aplicativo, modulação e envio da informação via luz de Led visível.

### 4.2.1 Fluxograma do Transmissor

No fluxograma, apresentado na Figura 20, é possível observar o processo descrito anteriormente da transmissão do sinal.

Figura 20 - Fluxograma do circuito de emissão.



Fonte: autor.

### 4.2.2 Escolha do Dispositivo Ótico (Lâmpada LED)

Para o envio da informação se faz necessário a utilização de uma lâmpada de LED visível. Para tal, foi escolhida a lâmpada de LED do tipo Spot com 5W de potência e 18V<sub>DC</sub> de alimentação. Sendo apresentada na Figura 21.

Figura 21 – Lâmpada de LED utilizada no emissor

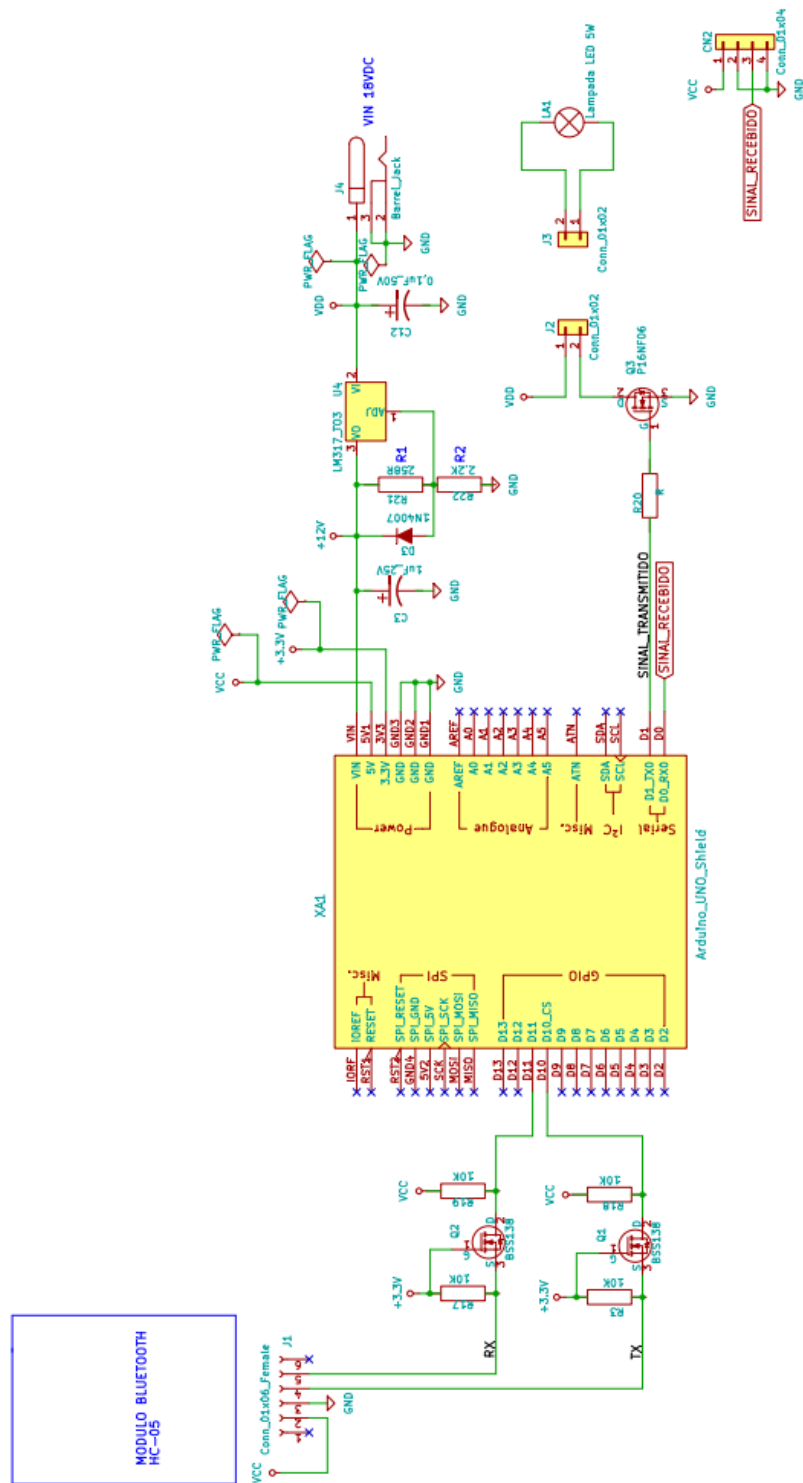


Disponível em: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-905655942-kit-9-spot-cob-led-5w-redondo-direcionavel-gesso-bivolt-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-905655942-kit-9-spot-cob-led-5w-redondo-direcionavel-gesso-bivolt-_JM). Acesso em: 10/05/2018.

### 4.2.3 Esquema Elétrico do Transmissor

Na Figura 22 está apresentado o esquema elétrico do sistema de transmissão. O layout da placa do transmissor/receptor está disponível no Apêndice D.

Figura 22 – Esquema Elétrico do Transmissor.

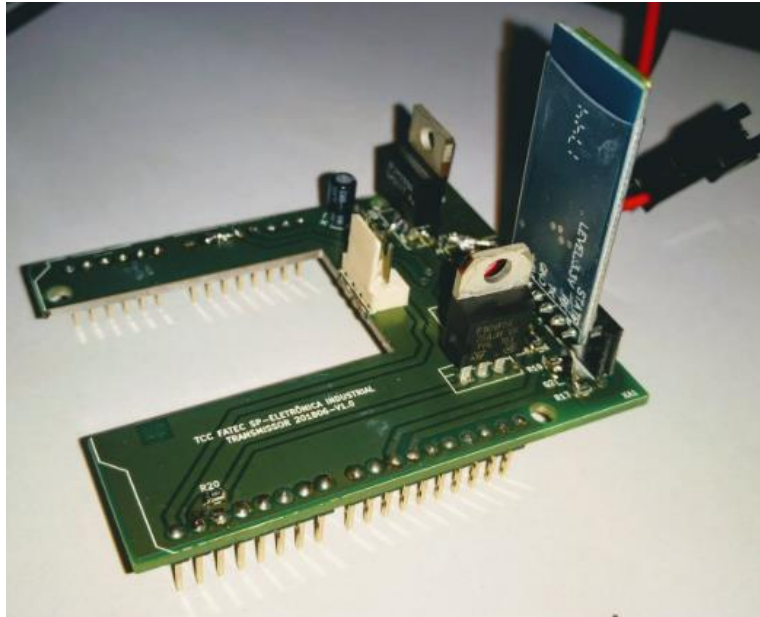


Fonte: autor.

#### 4.2.4 Placa de Circuito Transmissor Montada

Na Figura 23 é apresentada a placa do transmissor com sua montagem final.

Figura 23 – Placa do circuito transmissor montada.



Fonte: autor.

#### 4.2.5 Especificações do Hardware Transmissor

- Informações técnicas:

- Alimentação: 127/220 VAC;
- Entrada Informação: Módulo Bluetooth;
- Processador: Microcontrolador Arduino UNO ;
- Saída: Lâmpada de LED (modulação da luz visível).

#### 4.2.6 Firmware do Transmissor

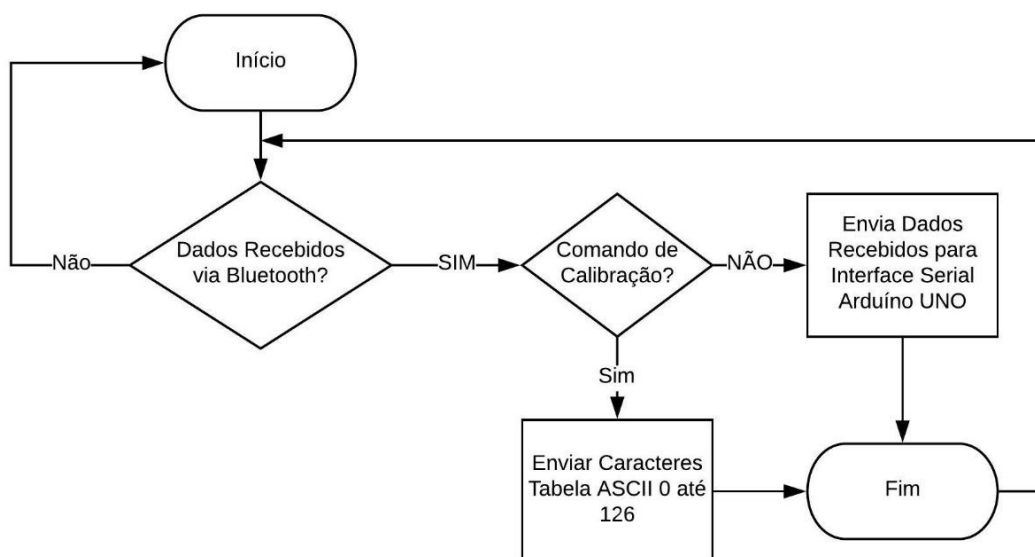
O recebimento de dados, tal como o direcionamento e envio precisa seguir uma lógica. Com isso, torna-se necessária a criação de um código (disponível no Apêndice



A) para o correto envio das informações. O desenvolvimento foi realizado utilizando a linguagem C++ e a compilação e gravação no Arduino Genuíno.

O fluxograma da Figura 24 esquematiza a lógica de funcionamento do firmware do transmissor, o qual o módulo Bluetooth fica aguardando o recebimento da informação do Bluetooth do smartphone. Ao receber a informação o dispositivo irá transmitir ao Arduino UNO que interpretará se o dado é de calibração ou texto/comando para enviar ao circuito de transmissão (modulação da lâmpada de LED).

Figura 24 - Fluxograma de programa do microcontrolador transmissor.



Fonte: autor.

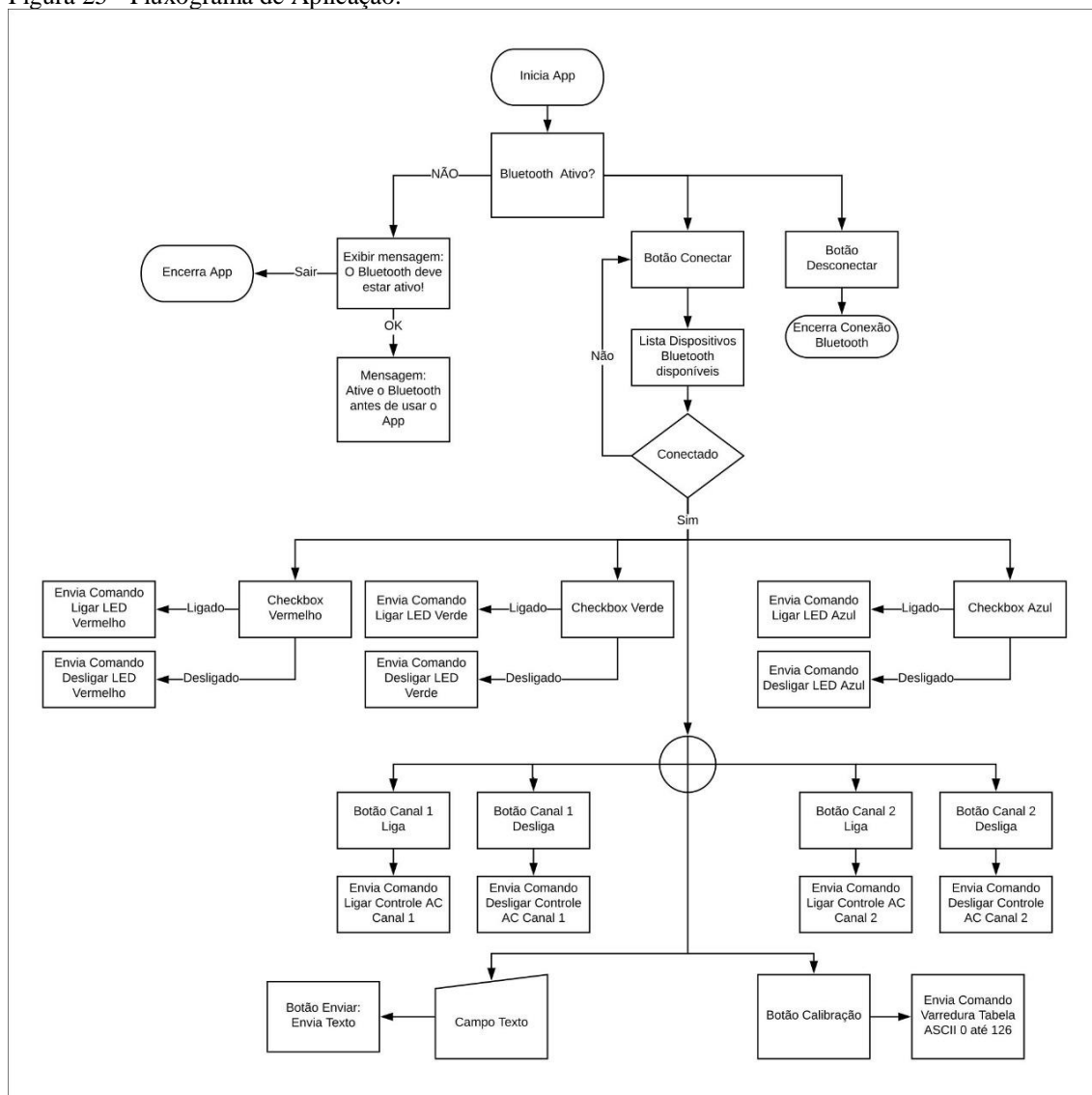
#### 4.2.7 Aplicativo

Para tornar possível a comunicação do smartphone com o microcontrolador do transmissor se faz necessário o desenvolvimento de uma aplicação. Esta é responsável por receber a informação inserida pelo usuário, codificá-la e enviar pelo Bluetooth do smartphone ao módulo Bluetooth do microcontrolador do transmissor.

O desenvolvimento da aplicação foi realizada através da plataforma APP Inventor que é uma aplicação código aberto, originalmente criada pela Google, e atualmente mantida pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT). Ela usa uma

interface gráfica, que permite aos usuários arrastar e soltar objetos visuais para criar um aplicativo que pode ser executado em dispositivos Android. Na Figura 25 é apresentado o fluxograma da aplicação desenvolvida.

Figura 25 - Fluxograma de Aplicação.



Fonte: autor.

Ao iniciar o aplicativo, este verificará se o Bluetooth do dispositivo está acionado. Se não, ele sinalizará a necessidade de ativação, caso contrário, prosseguirá com a verificação se o Bluetooth do smartphone está conectado com o módulo Bluetooth do circuito transmissor. Ao realizar o pareamento, a aplicação ficará esperando a seleção de alguma função do aplicativo (descritas em seguida) para transmitir o comando selecionado pelo usuário ao circuito de transmissão.

Na Figura 26 é apresentada a interface do aplicativo, o qual possui diversos controles/botões, com as funções:

- **Conectar:** realiza a conexão do Bluetooth do smartphone com o Bluetooth do módulo transmissor;
- **Desconectar:** realiza a desconexão do Bluetooth do smartphone com o Bluetooth do módulo transmissor;
- **Ligar LEDs:** envia o comando de acionar a luz de LED selecionada no sistema de recepção;
- **Controle AC:** realiza o ON/OFF em circuitos de potência em até dois dispositivos;
- **Enviar texto:** envia o texto digitado para ser transmitido.

Figura 26 – Interface do aplicativo desenvolvido.



Fonte: autor.

## 4.3 Circuito Receptor

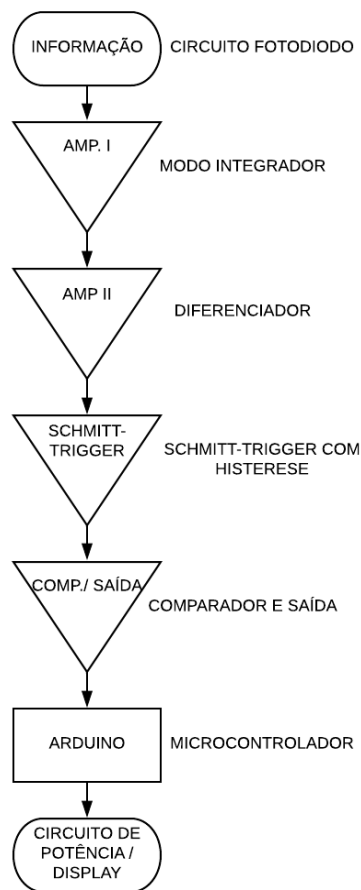
No circuito receptor a informação é recebida pelo fotodiodo, que tem como objetivo recuperar a mensagem original que foi enviada, e para isso é necessário percorrer o caminho inverso do sistema de transmissão. Sabendo como o componente de detecção de luz funciona, podemos projetar o hardware eletrônico responsável por condicionar o sinal recebido pelo detector óptico.

Sendo assim, o sinal recebido pelo circuito do fotodiodo é submetido a seguinte sequência de tratamento: amplificação I (amplificador integrador), amplificação II (diferenciador), schmitt-trigger com histerese, comparador e saída, microcontrolador, e por fim, teremos a extração da informação inserida na aplicação do smartphone para atuar em circuitos de potência, comandos e envio de textos.

### 4.3.1 Fluxograma do Receptor

No fluxograma apresentado na Figura 27 é possível observar o processo descrito anteriormente da recepção do sinal.

Figura 27 - Fluxograma do Receptor.

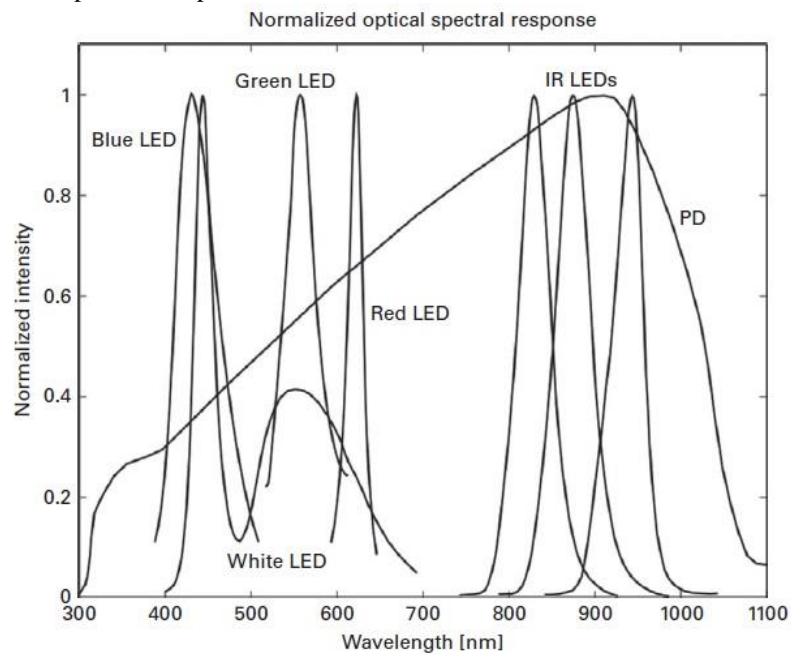


Fonte: autor.

#### 4.3.2 Escolha do Sensor detector de Fotón (Fotodiodo)

A escolha dos sensores fotodiodo foi baseada na Figura 28, onde se observa o comprimento de onda pela intensidade normalizada. Através desta informação, foi possível selecionar sensores com o comprimento de onda desejado para se obter uma melhor resposta em luz visível (objeto deste projeto).

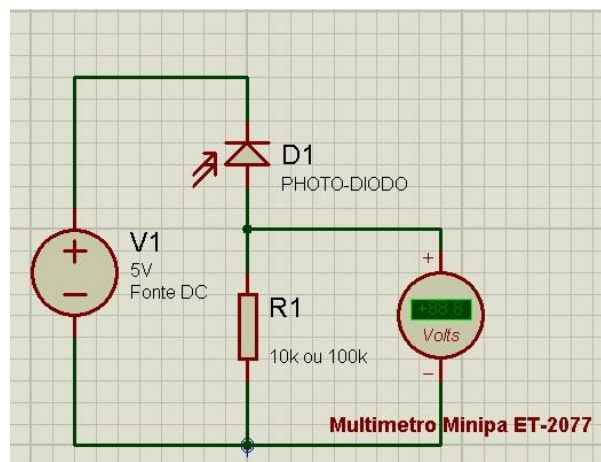
Figura 28 - Espectro Óptico de respostas dos LEDs.



Fonte: Adaptado de DIMITROV & HAAS, 2015

Realizou-se a medição de tensão sobre 2 resistores ( $10\text{k}\Omega$  e  $100\text{k}\Omega$ ) em série com o fotodiodo distanciados 1,60 metros do emissor e com a luz ambiente ligada para ambos os sensores, em duas situações: primeiramente com o emissor desligado e após ligado, conforme esquema apresentado na Figura 29.

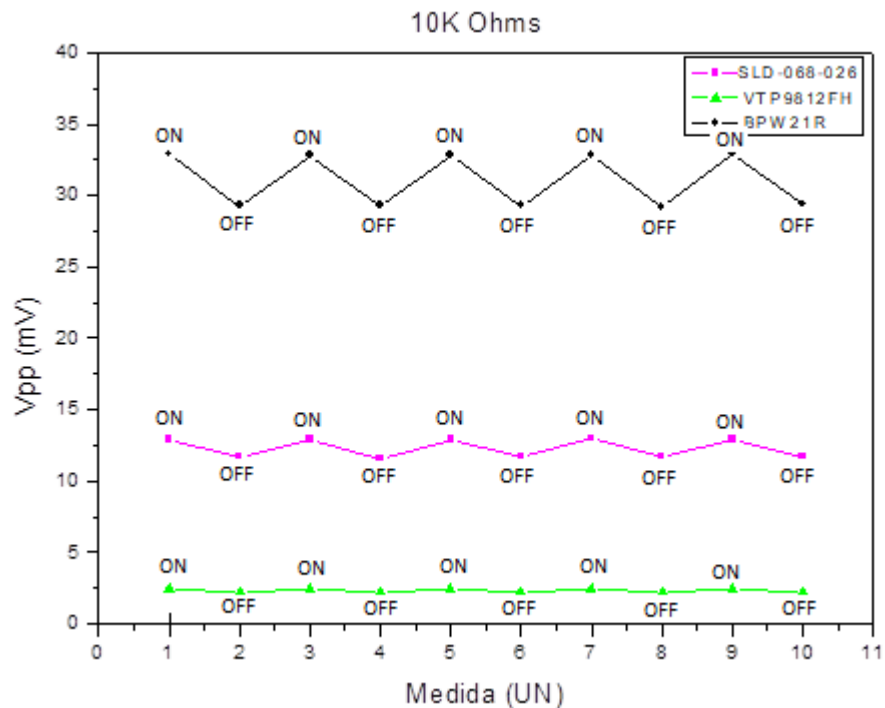
Figura 29 – Esquema de medição para fotodiodos.



Fonte: autor.

Obteve-se o resultado apresentado na Figura 30, no qual verificou-se que o sensor BPW21R possui um maior delta de variação, aproximadamente  $\Delta\% = 11,73\%$ .

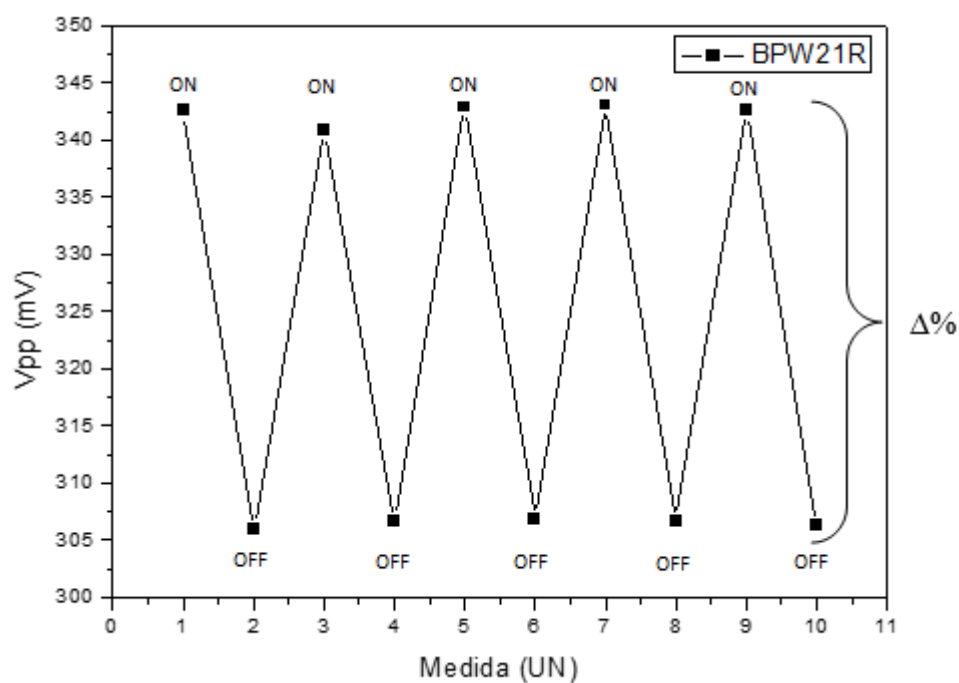
Figura 30 – Gráfico de dados coletados para diversos modelos de fotodiodos em 10K Ohms.



Fonte: autor.

A variação  $\%\Delta$  (Figura 31) corresponde a sensibilidade do sensor no ambiente de trabalho esperado para aplicação. Com isso, o sensor citado anteriormente se torna o mais viável para utilização neste projeto.

Figura 31 – Variação de sinal de sensor BPW21R para a medição em 100k $\Omega$ .



Fonte: autor.

Na Tabela 2 estão disponíveis as informações de cada fotodiodo utilizado neste levantamento de dados.

Tabela 3 - Especificações dos Fotodiodos Selecionados.

Sensores Part number	Descrição	Preço (\$ UND)	Faixa Espectral	Voltagem DC Reversa (Vr) (Max)	Corrente Dark (Typ)	Área ativa	Ângulo de Visão
SLD-68-026	Photodiode 560nm	2.44	400nm ~ 700nm	50V	100nA	2.0mm <sup>2</sup>	80°
BPW21R	Photodiode 565nm	12.32	420nm ~ 675nm	10V	2nA	7.5mm <sup>2</sup>	100°
VTP9812FH	Photodiode 585nm	1.73	400nm ~ 700nm	10V	10nA	1.55mm <sup>2</sup>	50°
<b>Referência</b>							
<a href="https://www.digikey.com/product-detail/en/luna-optoelectronics/SLD-68-026/SLD-68-026-ND/5423686">https://www.digikey.com/product-detail/en/luna-optoelectronics/SLD-68-026/SLD-68-026-ND/5423686</a>							
<a href="https://www.digikey.com/products/en?keywords=bpw21r">https://www.digikey.com/products/en?keywords=bpw21r</a>							
<a href="https://www.digikey.com/product-detail/en/excelitas-technologies/VTP9812FH/VTP9812FH-ND/5885875">https://www.digikey.com/product-detail/en/excelitas-technologies/VTP9812FH/VTP9812FH-ND/5885875</a>							

Fonte: autor.

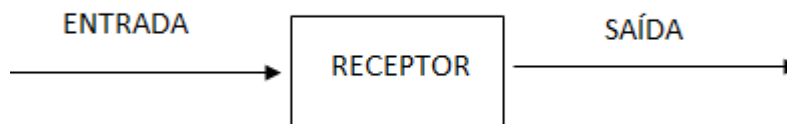


### 4.3.3 Etapas de desenvolvimento do circuito receptor

Para o desenvolvimento do circuito receptor foram realizados diversos experimentos, testando os circuitos disponíveis em teses/projetos acadêmicos.

Sabe-se que o sinal necessário para a entrada e o desejável na saída, no entanto, precisa-se destrinchar o método de tratamento e leitura de informação, conforme é ilustrado na Figura 32.

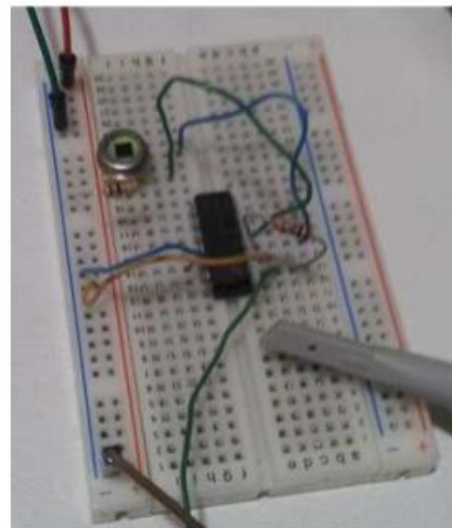
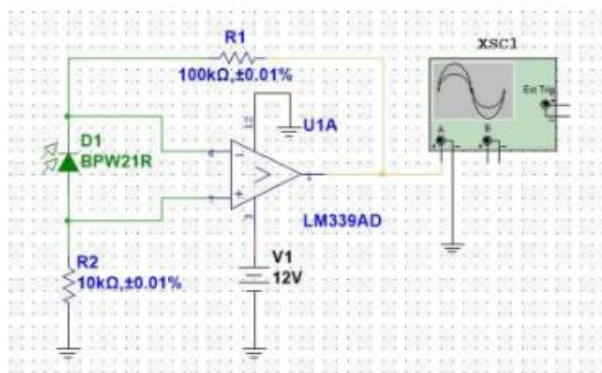
Figura 32 – Diagrama de fluxo de informação no receptor.



Fonte: autor.

Para que fosse realizado o primeiro teste foi utilizado um circuito simples de amplificação de sinal. O levantamento de dados foi executado em ambiente fechado e com o transmissor afastado 170cm do receptor. Conforme Figura 33.

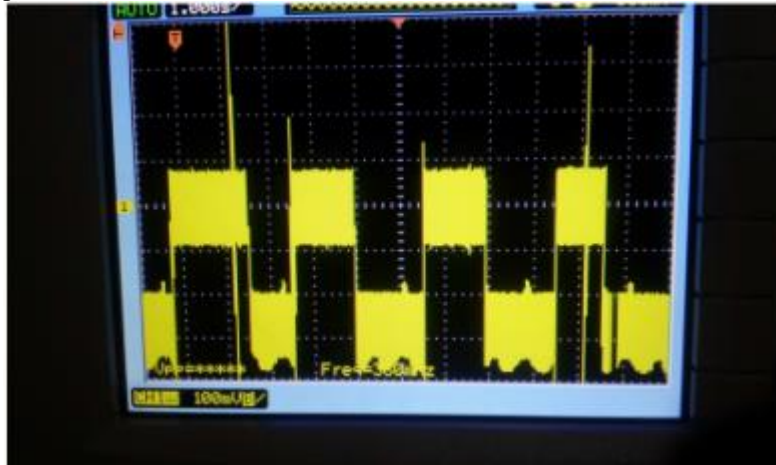
Figura 33 – Esquema elétrico e circuito montado.



Fonte: autor.

Na Figura 34 é exposto o resultado obtido para a leitura de informação na frequência da rede elétrica (60Hz), no qual fica evidente a presença de ruído somado ao sinal original. Tal sinal foi obtido com o liga/desliga do interruptor da lâmpada de LED.

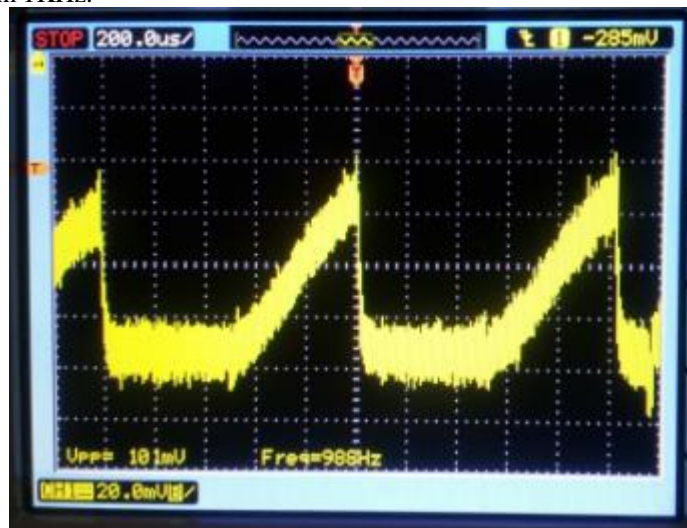
Figura 34 – Resposta a claro/ escuro.



Fonte: autor.

Em sequência, testamos com um LED 5mm alto brilho branco, variando sua frequência no envio de 0 e 1, obtendo a Figura 35 com 1KHz.

Figura 35 – Sinal em 1KHz.

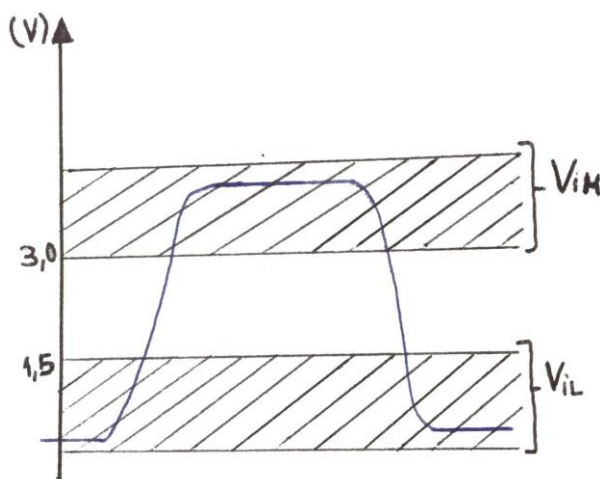


Fonte: autor.

A Figura 35 evidencia que mesmo após a elevação da frequência o sinal manteve uma alta taxa de ruído e ocorreu a saturação do amplificador.

Como foi utilizada a plataforma Arduino, o sinal deve ser condicionado de modo que a margem de ruídos se mantenha entre nível baixo (entre 0 a 1,5V) e nível alto (entre 3 e 5V) conforme mostra a Figura 36, sendo assim já bastante robusto em comparação com níveis TTL normais, que ficam na faixa de 0 a 0,7V para nível baixo e 2 a 5V para nível alto.

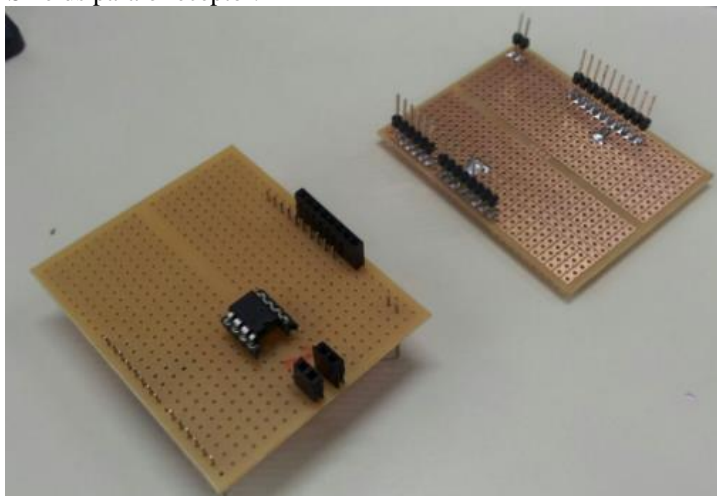
Figura 36 – Faixa de detecção de nível do microcontrolador.



Fonte: autor.

Para facilitar a utilização do módulo receptor foi planejado a utilização de placas Shields conforme Figura 37.

Figura 37 – Placas Shields para o receptor.



Fonte: autor.

Seguindo a sequência de melhorias, foi desenvolvido o protótipo do transmissor, conforme a Figura 38.

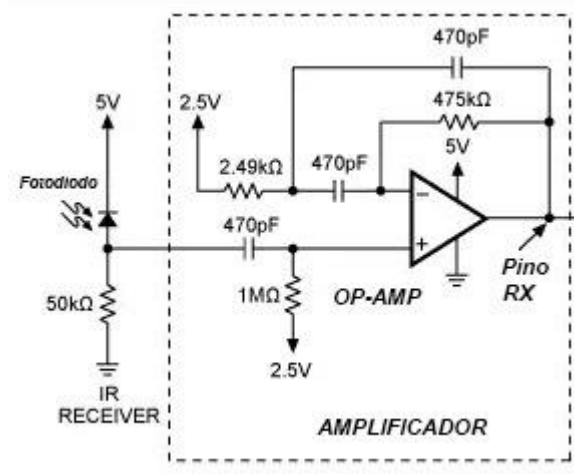
Figura 38 – Protótipo de circuito transmissor.



Fonte: autor.

Na Figura 39 é ilustrado o novo circuito elétrico do receptor. Nele, foi adicionado uma melhora no sistema de filtro para tratamento do sinal.

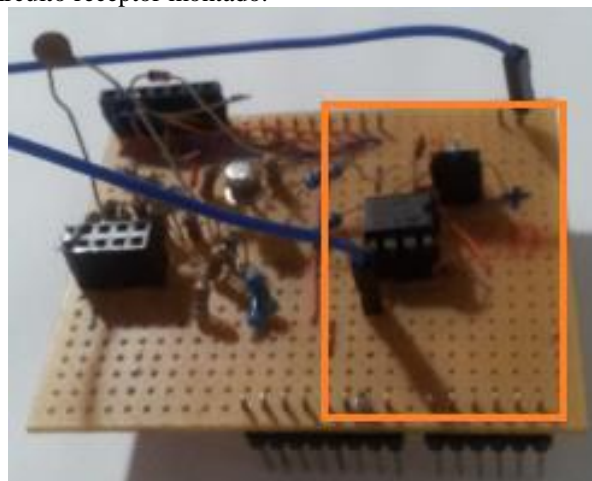
Figura 39 – Esquema elétrico do receptor



Disponível em: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/4622>. Acesso em: 15/06/2017.

O sistema foi montado na placa (Figura 40).

Figura 40 - Placa com circuito receptor montado.



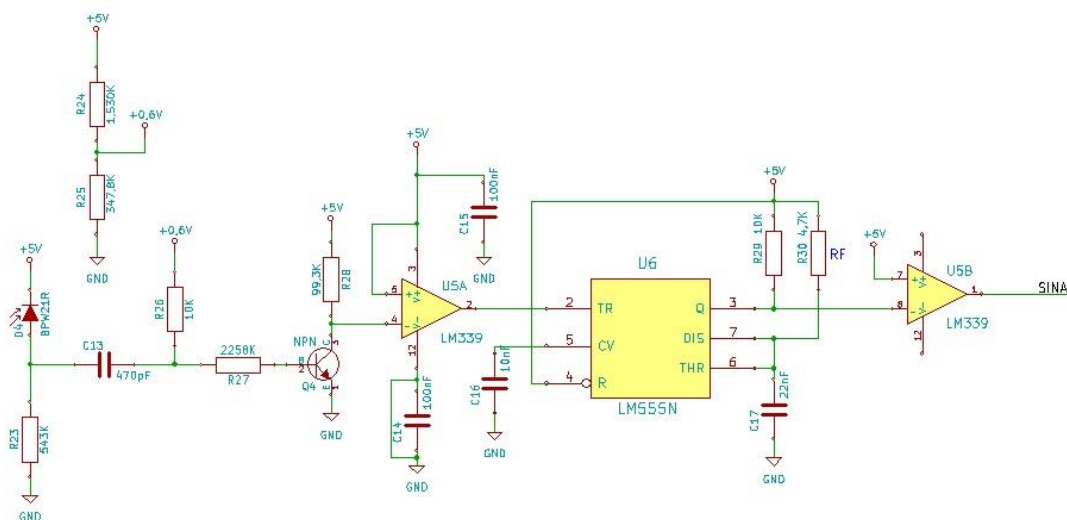
Fonte: autor.

Em sua coleta de dados foi feito o envio dos caracteres A e B. Com a análise dos resultados obtidos pode-se concluir que este circuito não poderia ser utilizado no projeto, pois é feito para trabalhar em onda quadrada, e o formato da onda possui como principal característica o envio da informação seguida por um sinal de maior frequência para sinalizar o término da informação. Esse sinal, mesmo que de amplitude menor que

a onda quadrada, provoca o reconhecimento dele como informação devido ao explicado anteriormente e mostrado na Figura 36.

Com isso, tornou necessário o desenvolvimento de outra atualização do circuito receptor. Na Figura 41 é mostrado o esquema elétrico. Nele o sinal recebido é enviado ao transistor, que chaveia a informação à entrada do amplificador. Este após ser comparado é direcionado a entrada do CI555, seguida por sua saída após a amplificação.

Figura 41 – Esquema elétrico de novo circuito receptor.



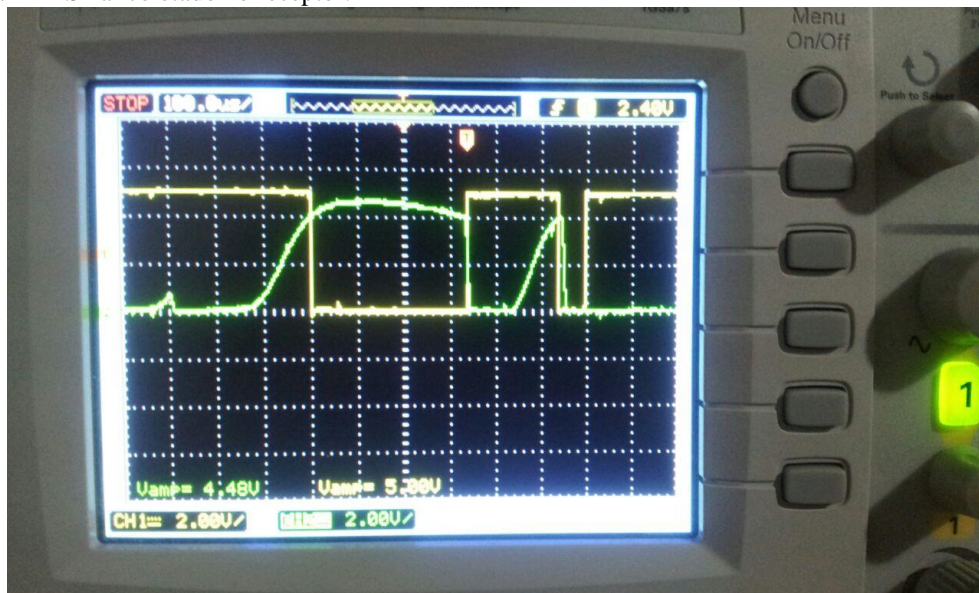
Fonte: autor.

Para a análise funcional do circuito foi realizado o envio de informação antecedido pelo sinal UUU (formato: UUUinformação). Após a análise dos dados coletados o circuito obteve êxito no envio e recebimento de dados com uma taxa de 8% de erro originado pelo delay de chaveamento do transistor e dimensionamento de resistores, no entanto, para o projeto é necessário um circuito que possua uma taxa de erro menor.

A Figura 42 apresenta o sinal colhido pelo osciloscópio. Nele é possível observar que a informação é coletada de forma correta, mas como citado anteriormente a taxa de erro invalida a sua utilização neste projeto.



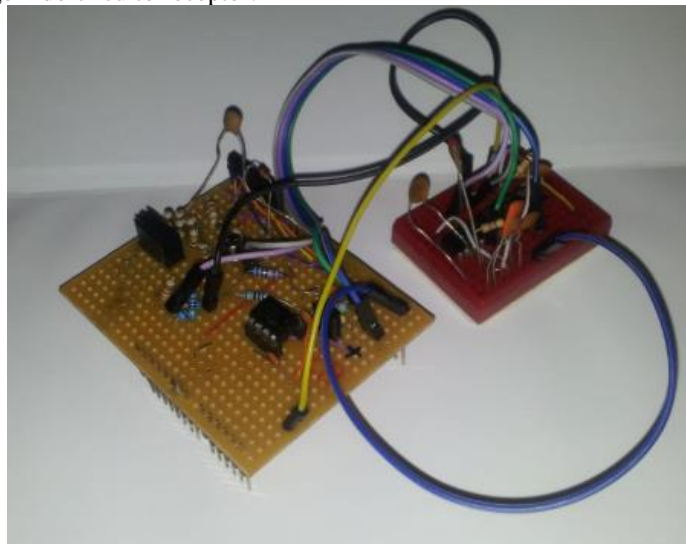
Figura 42 – Sinal coletado no receptor.



Fonte: autor.

A montagem do circuito é ilustrada na Figura 43.

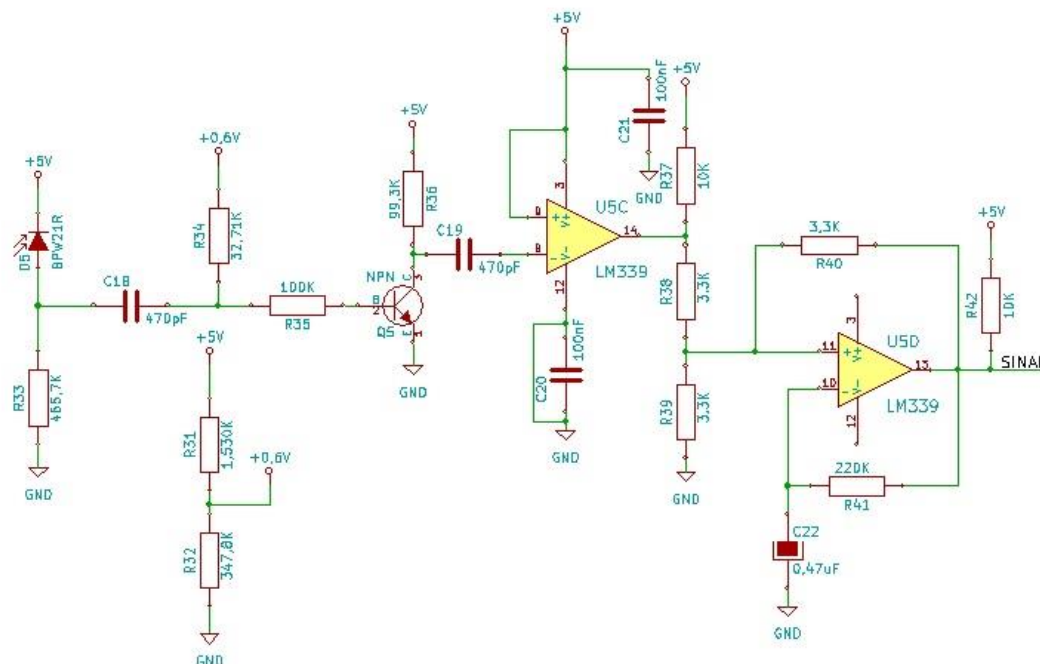
Figura 43 – Montagem do circuito receptor.



Fonte: autor.

Realizou-se a tentativa de correção do circuito receptor da Figura 41, através de uma simplificação, porém não obteve-se sinal satisfatório. A Figura 44 ilustra o esquema elétrico da simplificação do circuito.

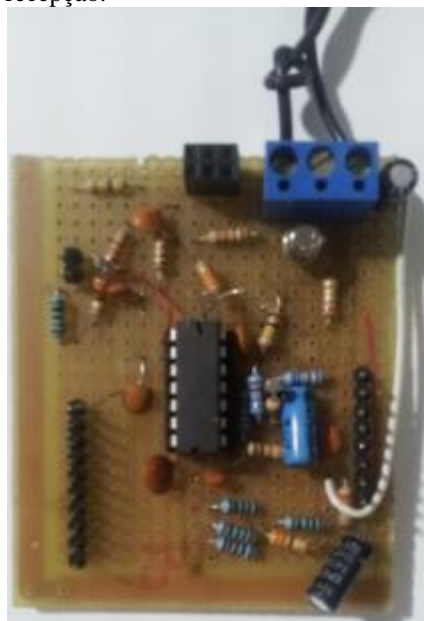
Figura 44 – Esquema elétrico de simplificação.



Fonte: autor.

Na Figura 45 é mostrada a placa com o circuito de simplificação montado.

Figura 45 – Placa do circuito de recepção.



Fonte: autor.



Após todos estes avanços, o projeto do receptor chegou ao circuito final. Sendo explicado adiante, mas citaremos alguns dados coletados. Na Figura 46 é ilustrado o sinal obtido no envio do caractere A e B.

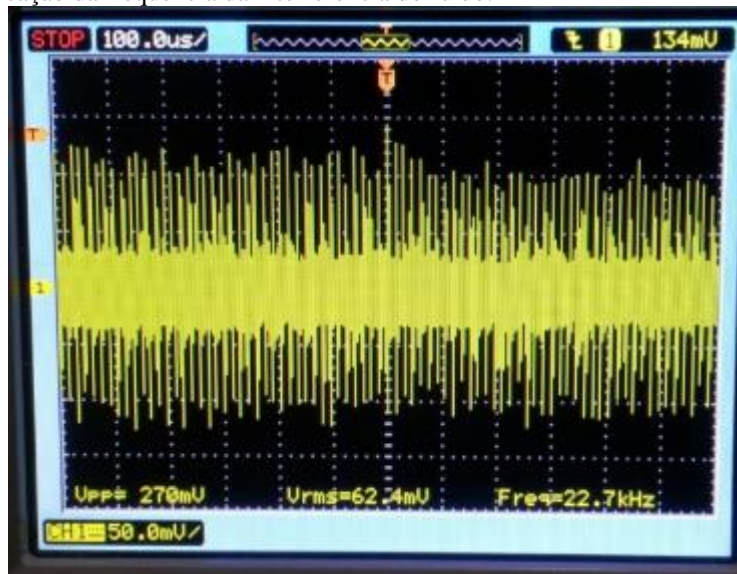
Figura 46 - Envio de caractere A e B no receptor.



Fonte: autor.

Pode-se observar a presença de um ruído no sinal. Para tal, realizou-se a isolamento do ruído para obter sua frequência conforme Figura 47.

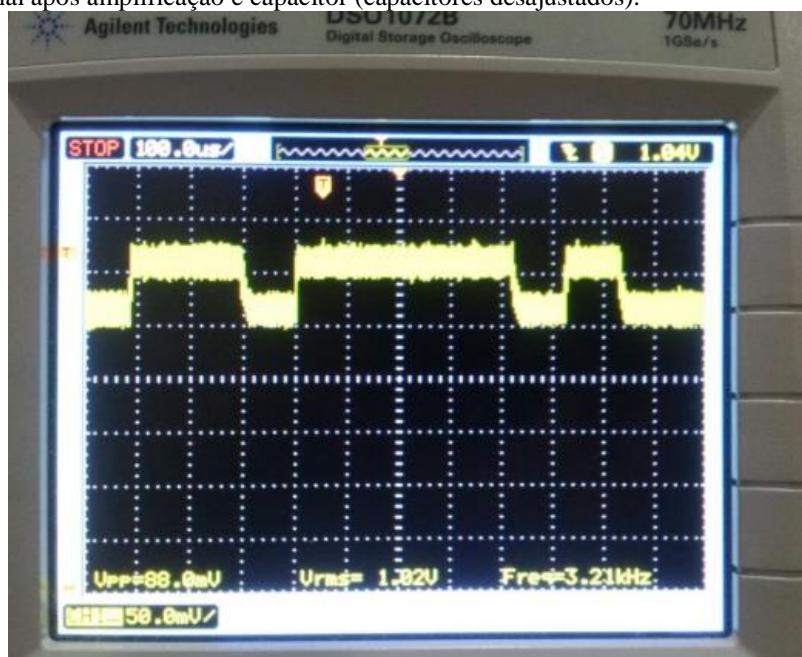
Figura 47 - Verificação da frequência da interferência do ruído.



Fonte: autor.

Na Figura 48 é ilustrado o sinal após o filtro do ruído e a amplificação do sinal, onde os capacitores estão desajustados.

Figura 48 - Sinal após amplificação e capacitor (capacitores desajustados).



Fonte: autor.

Em seguida, fez-se a análise do sinal após o circuito de integração (sinal verde) comparado com a saída (sinal amarelo), o qual pode-se observar que foi isolado do ruído e amplificado, concretizando sua aplicação para a realização do envio de informações do projeto (Figura 49).

Figura 49 - Sinal após o circuito de integração (sinal verde) comparado com a saída (sinal amarelo).

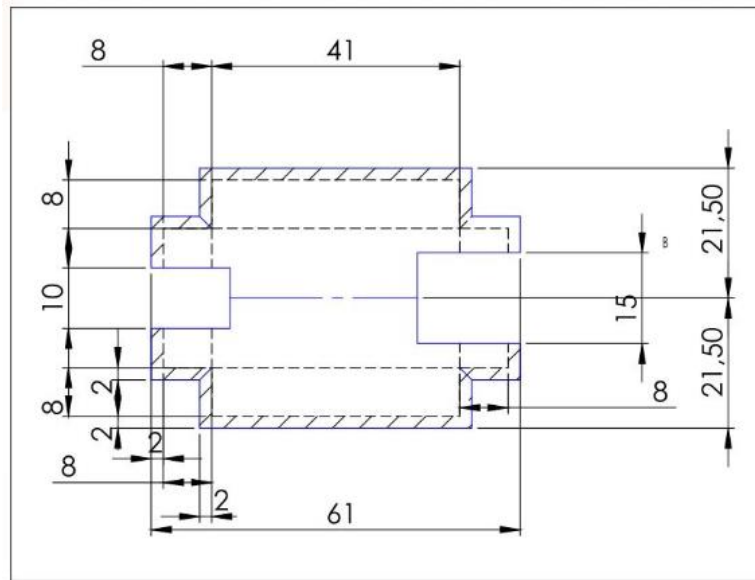


Fonte: autor.

#### 4.3.4 Blindagem do Circuito Receptor

Foi necessário o desenvolvimento de uma caixa de blindagem para o receptor, pois através de observação de dados de experimento concluiu-se que os circuitos adjacentes ao sensor aplicam uma certa interferência além das iluminações do tipo tubular com reator. Com isso, é apresentada na Figura 50 o desenho técnico da caixa de blindagem feita com uma folha de cobre.

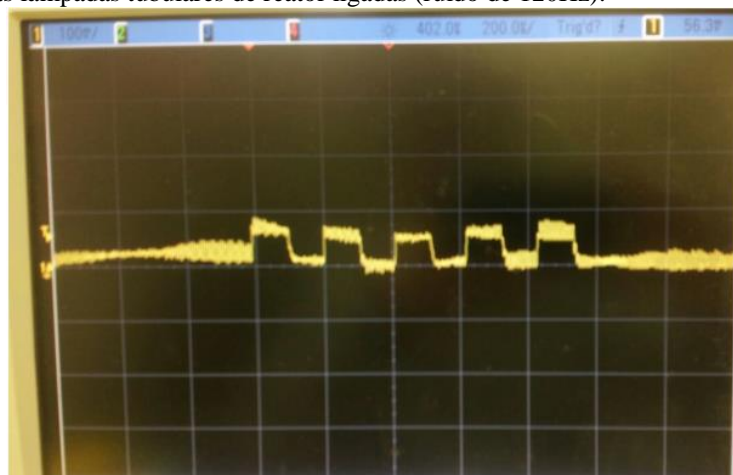
Figura 50 – Sensor acoplado a caixa de blindagem.



Fonte: autor.

Para verificar a necessidade da blindagem foi realizada a coleta da forma de onda gerada pelo receptor com a incidência de luz tubular de reator sobre este, conforme Figura 51. Nela é possível observar o ruído gerado sob uma onda quadrada.

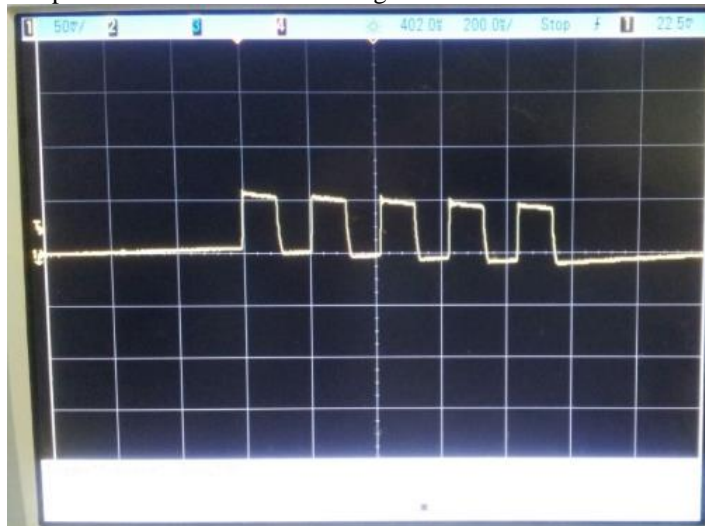
Figura 51 - Com as lâmpadas tubulares de reator ligadas (ruído de 120Hz).



Fonte: autor.

Em seguida fez-se a mesma coleta com a luz tubular de reator desligada (Figura 52).

Figura 52 - Com as lâmpadas tubulares de reator desligadas.



Fonte: autor.

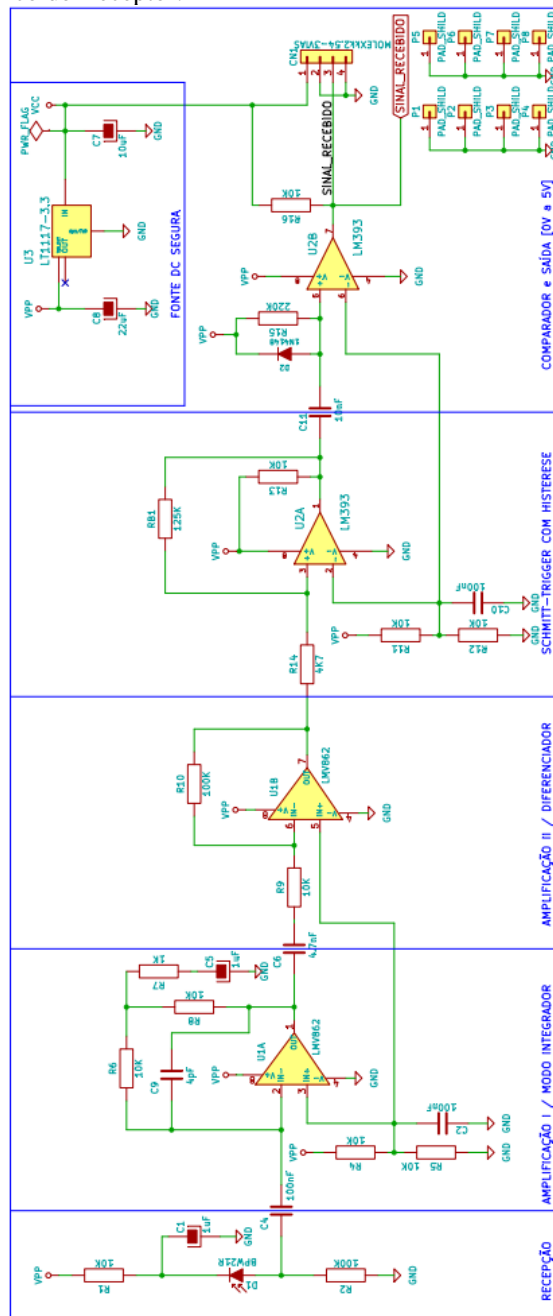
Sendo assim, aplicou-se a camada de cobre sobre o circuito receptor conforme a Figura 53.

Figura 53 – Camada de folha de cobre aplicada sobre o receptor.



Fonte: autor.

Figura 54 - Esquema Elétrico do Receptor.



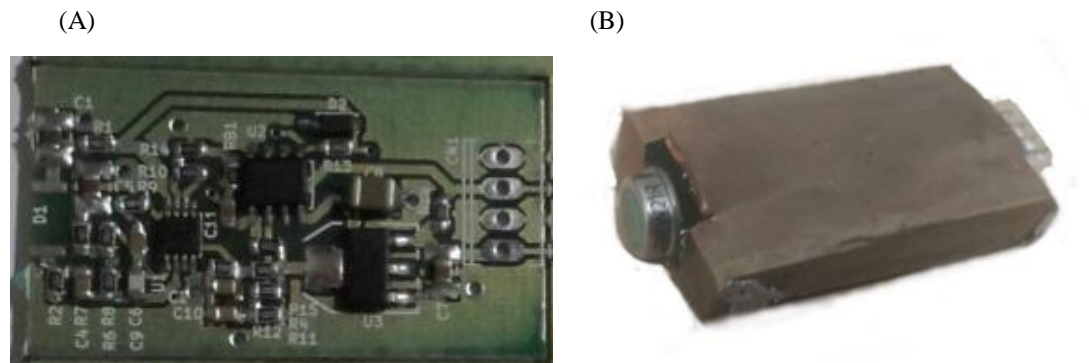


Fonte: autor.

#### 4.3.6 Placa do Circuito Receptor Montada

Foi realizada a fabricação da placa do receptor e obteve-se a montagem exposta na Figura 55. Na Figura 55A tem-se a placa montada sem a blindagem e na Figura 55B com a blindagem.

Figura 55 - Sem e com blindagem



Fonte: autor.

#### 4.3.7 Especificação do Hardware de Recepção

- Informações técnicas:

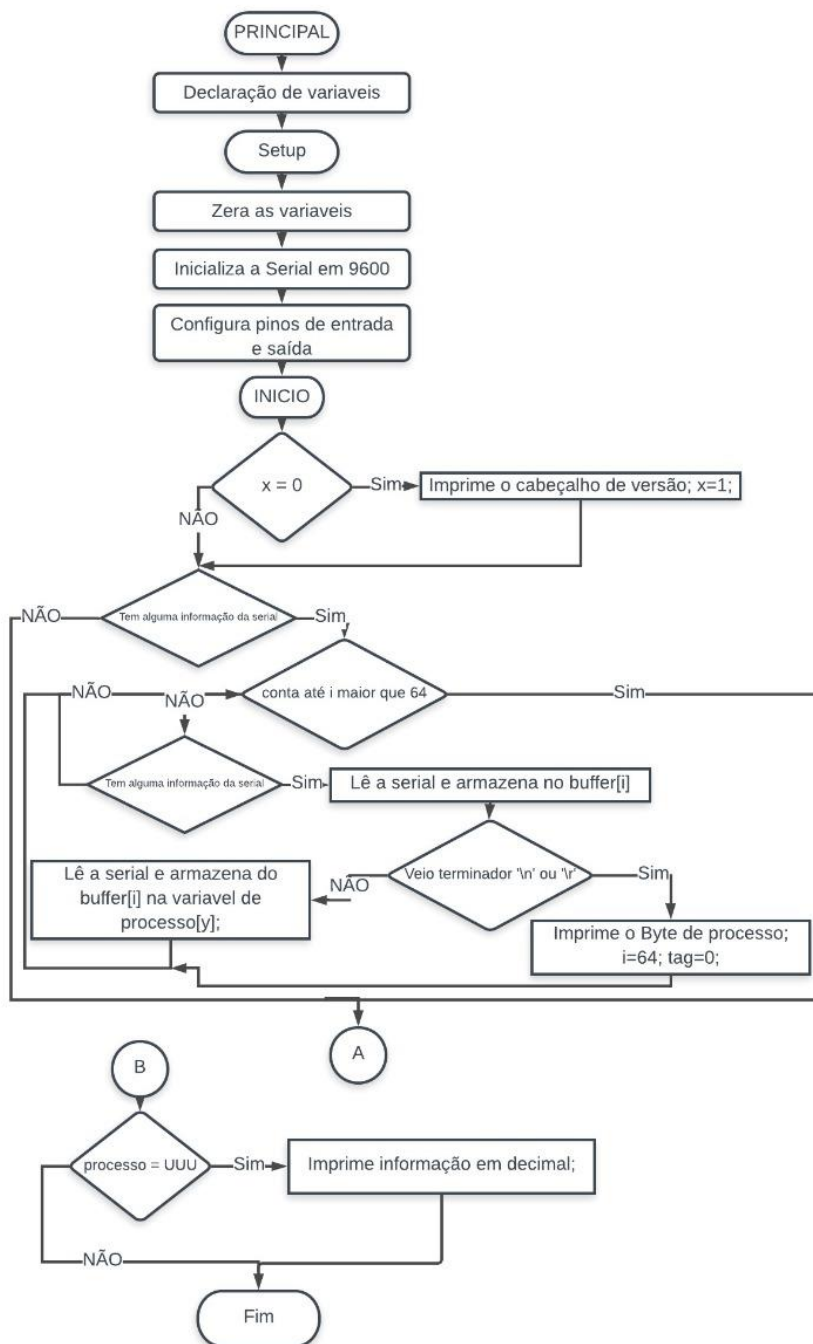
- Alimentação: 127/220VAC;
- Entrada informação: Sensor fotodiodo BPW21R;
- Processador: Microcontrolador Arduino NANO e MEGA;
- Saída: Display ou Circuito de Potência LIGA/DESLIGA em 127/220 VAC.

#### 4.3.8 Firmware do Receptor

Para realizar a interpretação do dado recebido pelo fotodiodo e tratado pelo sistema de filtro necessitou-se o desenvolvimento de um firmware para o Arduino

(código disponível no Apêndice B). A lógica do firmware é exibida no fluxograma da Figura 56.

Figura 56 – Fluxograma de rotina principal do Firmware para o receptor.

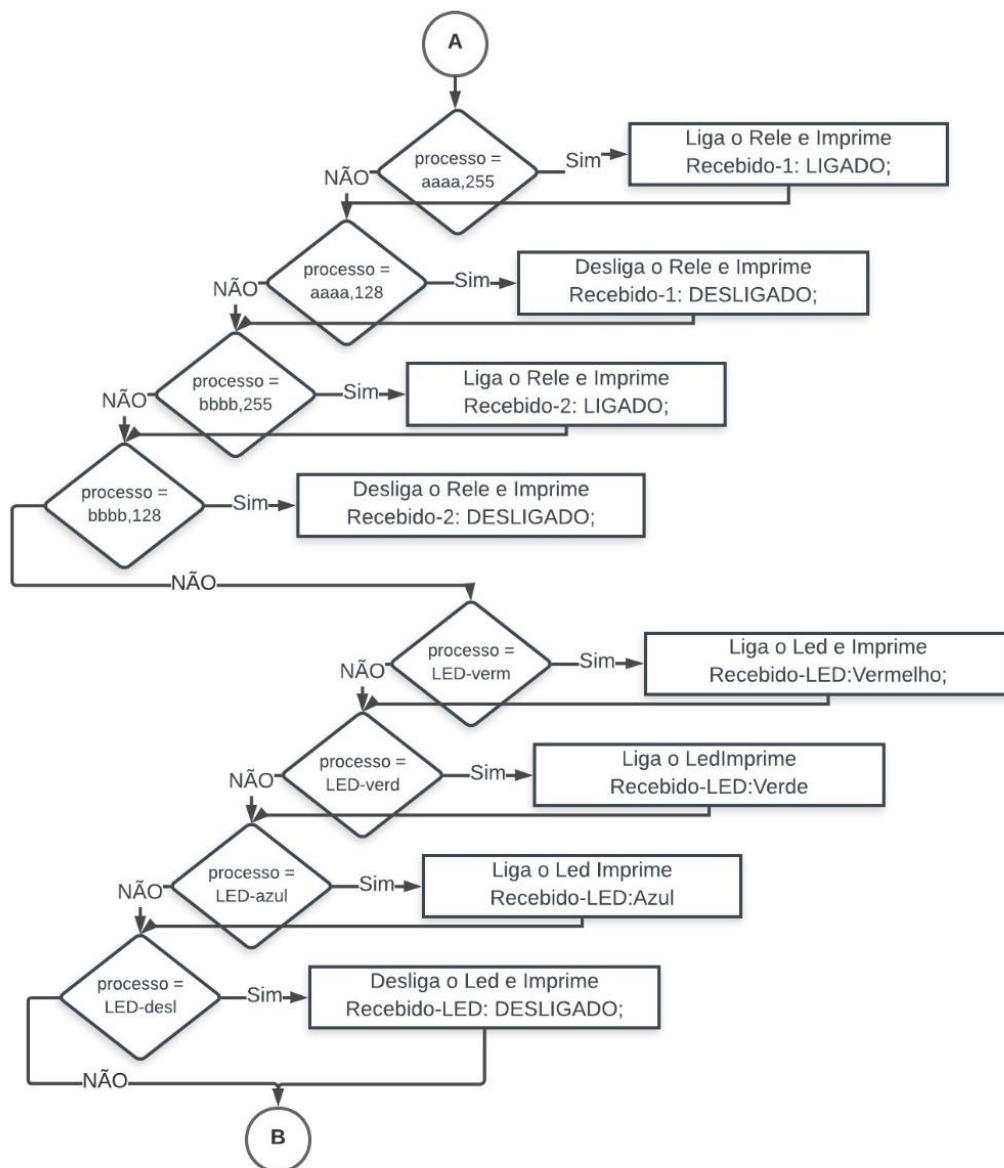


Fonte: autor.



O firmware realiza as configurações para que o código inicie sua rotina. Este ficará aguardando a informação para executar um comando pré-definido, exemplificado no fluxograma da Figura 57.

Figura 57 – Fluxograma de rotina de acionamentos do Firmware para o receptor.



Fonte: autor.

## 4.4 Testes do Sistema Experimental

### 4.4.1 Metodologia

Os testes foram realizados seguindo as seguintes especificações:

- Sensores ópticos alinhados e em um perímetro;
- Canal de comunicação aéreo;
- Distância de 160 cm entre os sensores;
- Ambiente fechado indoor;
- Iluminação ambiente;
- Taxa de transmissão de 9600 bps;
- Varredura (transmissão e recepção) da tabela ASCII do 0 ao 126;
- Levantamento de tabela de dados.

### 4.4.2 Montagem

Para a montagem de aplicação foram utilizadas as placas desenvolvidas seguindo as especificações feitas anteriormente. Na Figura 58 é mostrado os dois hardwares em teste com o transmissor mais próximo do receptor, para efeito ilustrativo.

Figura 58 - Montagem do hardware proposto, receptor abaixo e transmissor acima.



Fonte: autor.

#### 4.4.2.1 Transmissor

Para a montagem do transmissor foi necessário o desenvolvimento de uma caixa, onde foi inserido com seus componentes. A Figura 59 ilustra a montagem.

Figura 59 – Transmissor acoplado em sua caixa.



Fonte: autor.

Na Figura 60 é exposta a disposição dos componentes internos na caixa.

Figura 60 – Transmissor acoplado em sua caixa.



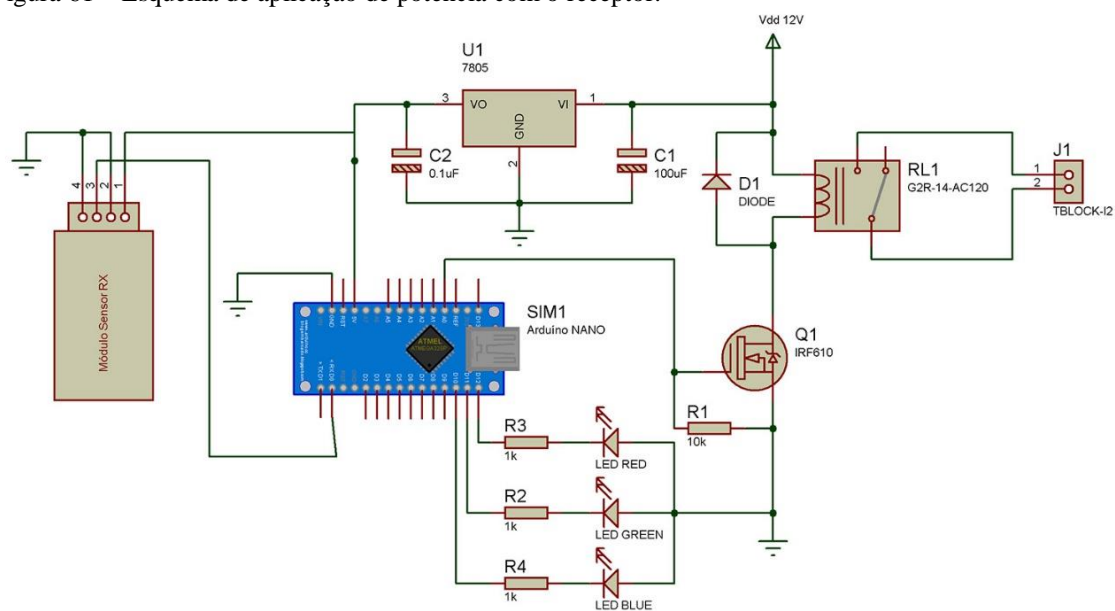
Fonte: autor.

#### 4.4.2.2 Receptor

O hardware receptor foi desenvolvido para poder ser utilizado com qualquer microcontrolador, sendo apenas necessária as ligações VCC, GND, e o SINAL ligado em uma entrada Rx da UART.

Para a aplicação do receptor no acionamento de potência seguiu-se o esquema apresentado na Figura 61.

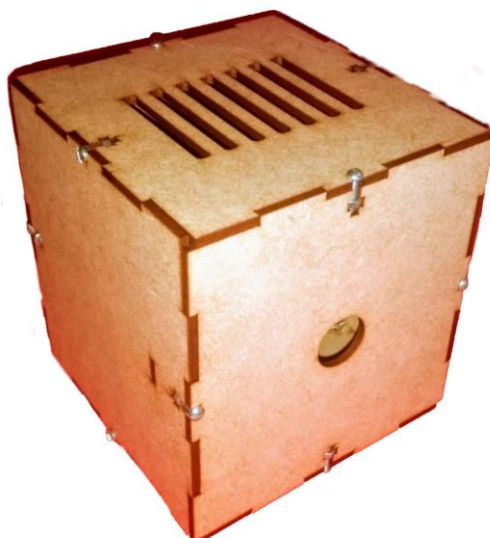
Figura 61 – Esquema de aplicação de potência com o receptor.



Fonte: autor.

Na montagem do receptor foi necessário o desenvolvimento de uma caixa, onde foi inserido com seus componentes. A Figura 62 apresenta a o receptor montado.

Figura 62 – Receptor acoplado em sua caixa.



Fonte: autor.

Para que fosse realizada a alimentação do circuito foi adicionada uma tomada IEC e para a alimentação do aparelho controlado, um plug padrão brasileiro, conforme exposto na Figura 63.

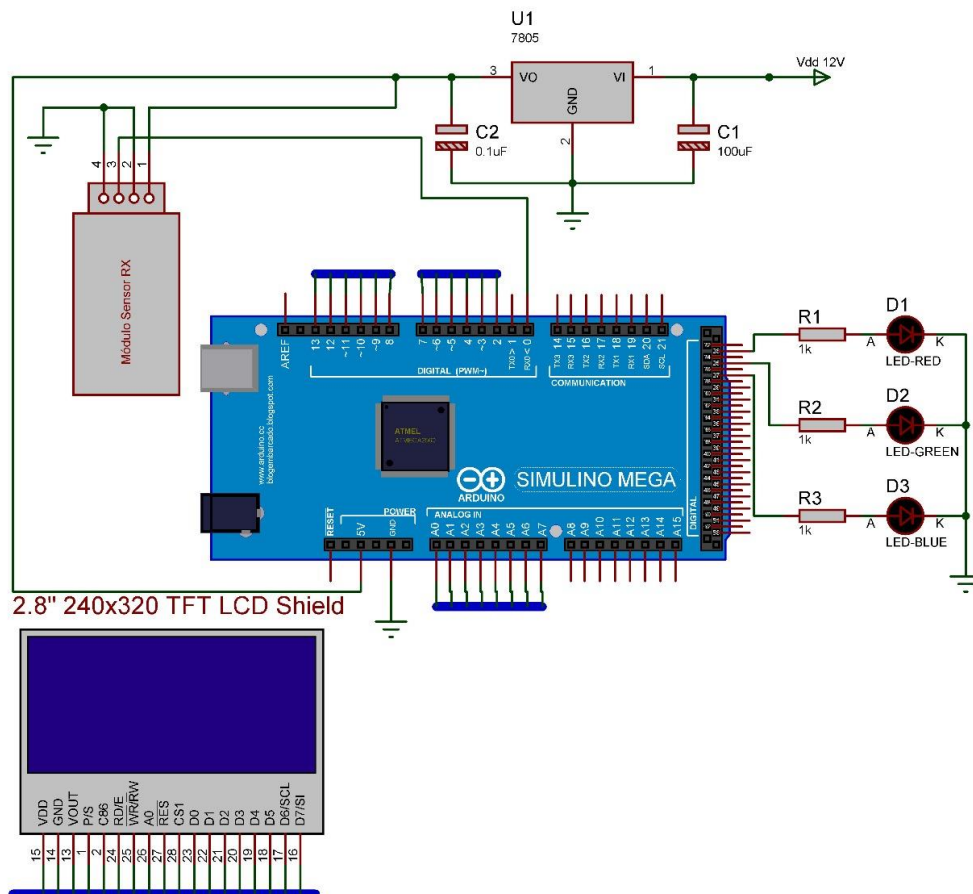
Figura 63 – Tomadas de conexão das fontes no receptor.



Fonte: autor.

Em uma segunda aplicação do receptor foi utilizado o Arduino MEGA para aplicação do display de acordo com o esquema da Figura 64.

Figura 64 – Esquema de aplicação de display com o receptor.



Fonte: autor.

O display foi posicionado na lateral da caixa conforme a Figura 65, no qual será possível ter controle visual do funcionamento do sistema.

Figura 65 – Display posicionado na caixa do receptor.



Fonte: autor.

Tendo todos os componentes adicionados na caixa, obteve-se o posicionamento desejado para o melhor funcionamento do circuito. A Figura 66 exibe tal disposição dos componentes.

Figura 66 – Disposição dos componentes do receptor.



Fonte: autor.

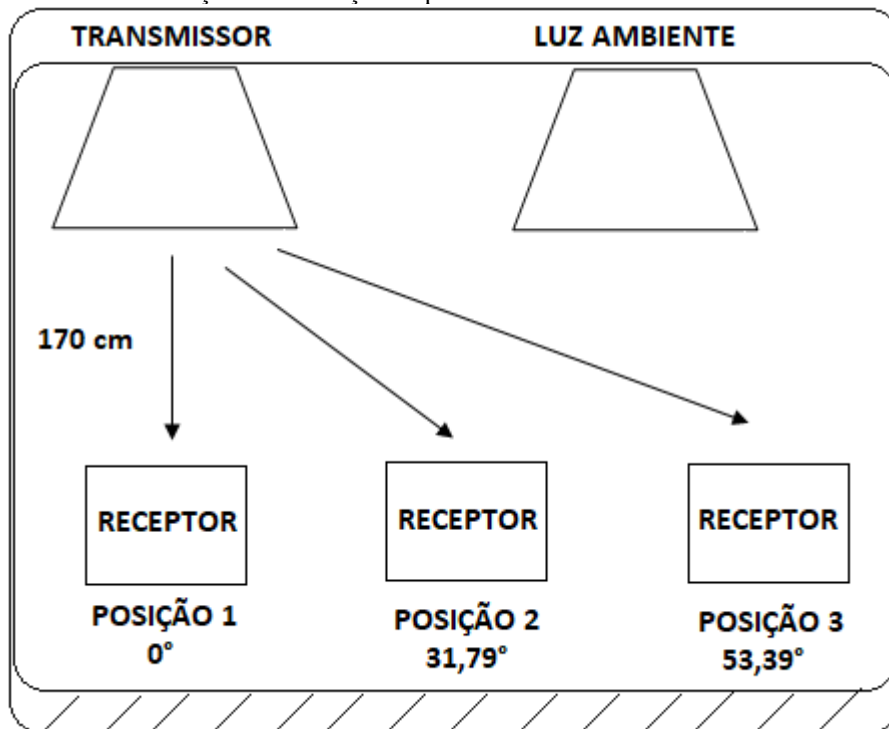


### 4.4.3 Resultados

Foram realizados testes do sistema em duas situações: com o transmissor e o receptor variando o ângulo de alinhamento do fotodiodo com a lâmpada de LED, e em seguida, com estes alinhados. Os experimentos se deram em ambiente fechado e com iluminação ambiente.

Primeiramente, a coleta de dados foi realizada conforme exposto pela Figura 67. O receptor iniciou estando alinhado com o transmissor a uma distância de 170 cm. Em seguida, alterou-se este ângulo de alinhamento em mais duas posições, uma com  $31,79^\circ$  e a outra com  $53,39^\circ$ .

Figura 67 – Sistema de medição com variação de perímetro.



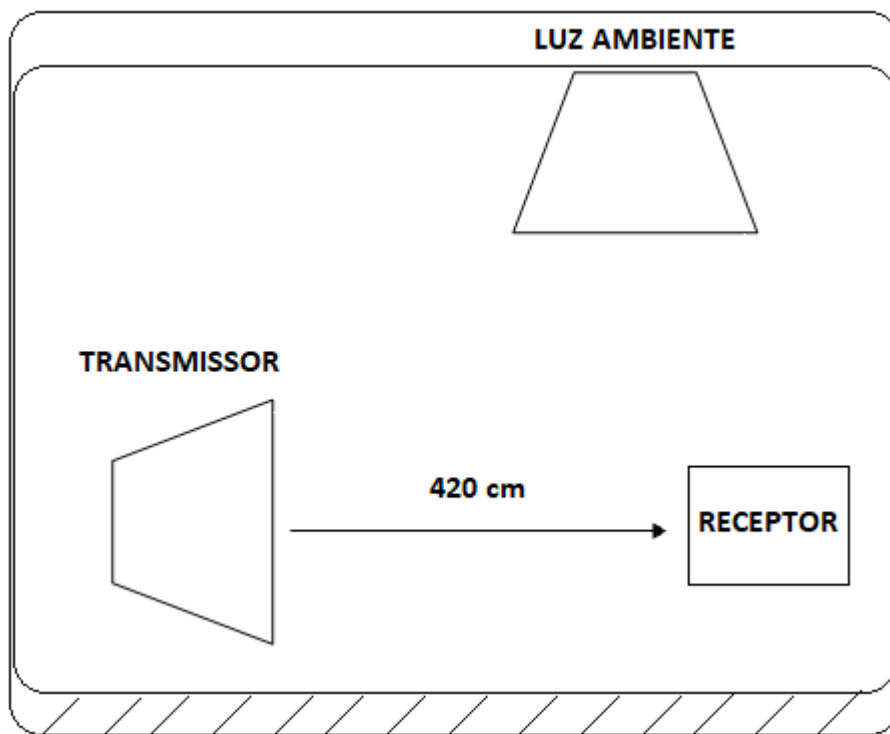
Fonte: autor.

Através do aplicativo foi enviado o comando de calibragem para o receptor. A função calibragem, ao ser acionada, envia ao transmissor uma varredura dos códigos da tabela ASCII do código de caracteres 0 ao 126. Com isso, foi verificado no receptor (com uma taxa de 5 amostras) se ocorreu o correto recebimento de dados.

Após a análise das informações recebidas, constatou-se que ocorreram apenas dois erros de envio de informação na situação em que o sensor se encontrava na posição 3.

Em seguida, a coleta de dados utilizou a configuração do sistema apresentado na Figura 68, em que o transmissor e emissor foram dispostos de forma alinhada com a finalidade de se obter a maior distância possível para a transmissão de dados.

Figura 68 – Sistema de medição alinhada.



Fonte: autor.

Através do aplicativo foi enviado novamente o comando de calibragem para o receptor.

Com isso, foi verificado no receptor (com uma taxa de 5 amostras) se ocorreu o correto recebimento de dados. A maior distância que se obteve o correto envio dos 127 caracteres ASCII foi em 420cm, na qual não ocorreu erro no recebimento dos dados.

Para ambas as configurações de posicionamento o sistema de comunicação VLC funcionou com sucesso, apresentando baixa taxa de erro. Os dados coletados estão disponíveis para consulta no Apêndice E.

## 5. CONCLUSÕES

Neste projeto foi desenvolvido um circuito de transmissão e recepção de dados por meio de lâmpada de LED, que se enquadra na tecnologia de comunicação por luz visível (VLC). Tal tecnologia vem sendo estudada e aponta para uma grande importância no futuro de sistemas de comunicação. Fato esse que deriva de uma das vantagens sobre a comunicação por rádio frequência, já mundialmente difundida, denominada Wi-Fi, no qual seu espectro fica cada vez mais sobrecarregado, causando instabilidade e vulnerabilidade.

Para que se tornasse possível seu desenvolvimento, realizou-se primeiramente a escolha do sensor fotodiodo. No experimento observou-se que o sensor BPW21R possui uma maior sensibilidade, o qual apresentou uma variação de  $\Delta\% = 11,73\%$ .

Uma vez selecionado o sensor, prosseguiu-se com o desenvolvimento de um transmissor, que realizasse a modulação do sinal digital recebido via aplicativo para dispositivos Android através do Bluetooth em um sinal luminoso emitido pela lâmpada de LED.

Com o sensor escolhido foram testados diversos meios de tratamento de sinal. Cada circuito apresentou um efeito limitador para sua utilização no projeto, sendo a interferência o principal objeto limitante da comunicação do esquema final. Após ser medida a frequência, foram projetados circuitos para filtragem do ruído e amplificação do sinal, chegando ao receptor final.

Para a realização dos experimentos tornou-se fundamental o desenvolvimento dos códigos de firmware do microcontrolador e do aplicativo para Android. Sendo o objetivo um experimento que validasse a comunicação a um baud rate de 9600bps. Para isso, através do aplicativo foi enviado o comando de calibragem para o transmissor, que tem por finalidade enviar as letras UUU seguida pela varredura da tabela ASCII do código de caractere 0 ao 126.

Com os resultados apresentados no Apêndice E, conclui-se que a comunicação obteve êxito, tanto para o transmissor e receptor alinhados (para uma distância máxima de 420cm) quanto para ambos distanciados por um ângulo máximo de  $53,39^\circ$ , com

taxas de erro baixa. Tal fato, pode ser percebido nos experimentos, nos quais se a comunicação é iniciada, dificilmente ocorrerá erro no envio dos dados.

Os resultados apontam para um grande potencial no desenvolvimento desta comunicação em diversas áreas da tecnologia, trazendo mais segurança, velocidade e estabilidade de sinal.

## **5.1 Trabalhos Futuros**

Após a conclusão e análise do projeto, já formulado e testado, pode-se observar aspectos para uma posterior melhora, através da adição de circuitos de tratamento e filtro de sinal no receptor, com a finalidade de estabelecer uma conexão com mais velocidade e alcance.

Outro tópico a ser ressaltado é a implementação de um código de tratamento de sinais para validação de informação. Assim, evitando perdas de informação, tornando o sistema mais confiável.

Por fim, a realização de testes para especificações máximas aplicando LEDs com maior potência e aumentando a velocidade de transmissão de dados, alterando o baud rate com o intuito de descobrir o limite do circuito receptor.

## 6. REFERÊNCIAS

SACCOL, Amarolinda Zanela; REINHARD, Nicolau. Tecnologias de informação móveis, sem fio e ubíquas: definições, estado-da-arte e oportunidades de pesquisa. *Revista de administração contemporânea*, v. 11, n. 4, p. 175-198, 2007.

LUTHER, Jörg. O alfabeto 802.11. *Linux Magazine Online*, p. 22-24, 2005.

OLIVEIRA, Mário Jorge Garcia de. Desenvolvimento de uma plataforma para Internet das Coisas baseada em Wi-Fi. 2017. Tese de Doutorado.

STEFANUTO, Iago; DOS SANTOS, José Aluizio Melquiades; TORRES, Claudines Taveira. Evolução das Redes Sem Fio: Comparativo Entre Wi-Fi e Bluetooth. *Caderno de Estudos Tecnológicos*, v. 4, n. 1, 2016.

PERELMAN, Yevgeny; GINOSAR, Ran. A low-light-level sensor for medical diagnostic applications. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, v. 36, n. 10, p. 1553-1558, 2001.

ABDALLAH, Zeina et al. Nonlinear equivalent-circuit modeling of a fast photodiode. *IEEE Photonics Technology Letters*, v. 26, n. 18, p. 1840-1842, 2014.

HEWEAGE, Mohamed Fathy et al. Modeling and performance analysis of a quad detector using PSpice. In: *Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)*, 2016 IEEE. IEEE, 2016. p. 243-247.

HELD, Gilbert. *Introduction to light emitting diode technology and applications*. CRC press, 2016.

SINDHUBALA, K.; VIJAYALAKSHMI, B. Design and implementation of visible light communication system in indoor environment. ARPN Journal of Engineering and Applied sciences, v. 10, n. 7, p. 2882-2886, 2015.

FILHO, V. VLC – Comunicação Óptica por Luz Visível. TCC ( Bacharel em Engenharia Eletrônica) – Universidade de Brasília – UnB. Brasília, p. 29. 2015.

IVKOVIĆ, Jovan; ODADŽIĆ, Borislav. Analysis of Visible Light Communication System for Implementation in Sensor Networks. 2016.

STANDAGE, T. The Victorian internet: The remarkable story of the telegraph and the nineteenth century's on-line pioneers. New York: Walker, 1998. ix, 227 p. Citado na página

SCHMID, Stefan et al. Using consumer LED light bulbs for low-cost visible light communication systems. In: Proceedings of the 1st ACM MobiCom workshop on Visible light communication systems. ACM, 2014. p. 9-14.

DIMITROV, Svilen; HAAS, Harald. Principles of LED Light Communications: Towards Networked Li-Fi. 1.ed. Cambridge University Press. 2015. 232 p.

KARUNATILAKA, Dilukshan et al. LED Based Indoor Visible Light Communications: State of the Art. IEEE communications surveys and tutorials, v. 17, n. 3, p. 1649-1678, 2015.

WANT, Roy; SCHILIT, Bill N.; JENSON, Scott. Enabling the internet of things. Computer, v. 48, n. 1, p. 28-35, 2015.

AZZAWI, A. Fiber optics: principles and practices. Boca Raton, FL: CRC/Taylor, 2007. Disponível em: . Citado na página

BOPUCHET, O.; SIZUN, H.; BOISROBERT, C.; FORNEL, F.; FAVENNEC, P. N. – Free-Space Optics, Propagation and Communication – ISTE. Londres 2006.

BELL, A. G. Selenium and the photophone. [S.l.], 1880. Citado na página

ENCYCLOPEDIA. Disponível em:  
<[https://www.pcmag.com/encyclopedia/term / 65261/u-nii](https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/65261/u-nii)>.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS E TEORIA DE CIRCUITOS. 8<sup>a</sup> Edição. São Paulo. Prentice-Hall do Brasil, 2004.

MALVINO, A P. ELETRÔNICA. VOLUME 1. 4<sup>a</sup> Edição. São Paulo. Pearson Makron Books, 1997.

FRIEDMAN; EDWARD; MILLER, J. L. Photonics rules of thumb: optics,electrooptics,fiber optics, and lasers. [S.l.]: McGraw-Hill Professional, 2004. Citado na página

McDermott-Wells, P. Bluetooth Overview. IEEE Potentials Magazine. December 2004, pp.33-35.

Wikipedia. Bluetooth. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>. Último acesso em 25 de março de 2018.

Chomienne, D. Eftimakis, M. Bluetooth Tutorial. Disponível em: <[www.newlogic.com/products/ Bluetooth-Tutorial-2001.pdf](http://www.newlogic.com/products/Bluetooth-Tutorial-2001.pdf)>. Último acesso em 25 de março de 2018.

## APÊNDICE A – Código do Firmware de Transmissor

```

/*****BLOCO1

```

\* INSTITUIÇÃO :

Fatec São Paulo

\* NOME DO PROJETO:

Transmissor de dados via luz de led.

\* AUTOR:

Gustavo Palma

Marcelo Rua

Rafael Benetti Santos

\* HISTÓRICO DE REVISÕES:

Versão V1.0 29/07/2018 - Estruturação do código.

\* DESCRIÇÃO:

O programa de Recepção via luz de Led recebe os dados transmitidos

em um baud-rate de 9600 decodificando e enviando via serial para executar uma ação predefinida ou mostrar no Display;

\* CONFIGURAÇÃO:

MCU: ARDUINO UNO

MODULOS EXTERNOS: Módulo Bluetooth RS232 HC-05

SW COMPILADOR: Arduino 1.6.9

```

*****BLOCO1*

```

/

```

/*****BLOCO2*/

```

```

#include "SoftwareSerial.h" //Inclusão da biblioteca SoftwareSerial

```

```

//Criação de uma nova serial para o Bluetooth

```

```

SoftwareSerial bluetooth(10, 11); //TX, RX (Bluetooth)

```

```

String recByte;

```



```

/*****BLOCO2
*/

/*****BLOCO3
*/

void setup() {

    //Inicialização do hardware serial
    Serial.begin(9600);
    //Inicialização do Bluetooth
    bluetooth.begin(9600);
}

/*****BLOCO3
*/

/*****BLOCO4
*/

void loop(){

    //_____PROCESSAMENTO DE DADOS
    RECEBIDOS_____

    if (bluetooth.available()){ //Espera evento no bluetooth
        Serial.write(bluetooth.read()); //Imprime na tela a informação
recebida

    }

    //_____LISTA DE
    COMANDOS_____

```

```
if(recByte=="cccc,255"){ //Comando de varredura de 0 a 255
    for(char i=0;i<=126;i++){
        Serial.write("UUU"); //Start-bit
        delay(100);
        Serial.write(i); //Informação de varredura
    }
    for(int i=0; i < 8 ;i++)recByte[i] = 0;
}
}
/******BLOCO4
*/
```

## APÊNDICE B – Código do Firmware do Receptor

/\*\*\*\*\*BLOCO1

\* INSTITUIÇÃO :

Fatec São Paulo

\* NOME DO PROJETO:

Recepção de dados via luz de led.

\* AUTOR:

Gustavo Palma

Marcelo Rua

Rafael Benetti Santos

\* HISTÓRICO DE REVISÕES:

Versão V1.0 18/07/2018 - Estruturação do código.

\* DESCRIÇÃO:

O programa de Recepção via luz de Led recebe os dados transmitidos em um baud-rate de 9600 decodificando e enviando via serial para executar uma ação predefinida ou mostrar no Display;

\* CONFIGURAÇÃO:

MCU: ARDUINO NANO 3.0

SW COMPILADOR: Arduino 1.6.9

\*\*\*\*\*BLOCO1\*/

/\*\*\*\*\*BLOCO2\*/

String versao = "FATEC SÃO PAULO RX-V1.0 20180130";

String msg;

char x;

const int led0Pin = 12; // cria uma constante com o numero do pino ligado ao LED

const int led1Pin = 11; // cria uma constante com o numero do pino ligado ao LED

const int led2Pin = 10; // cria uma constante com o numero do pino ligado ao LED

const int outputPin = 14; // cria uma constante com o numero do pino  
conectado a tecla

```

/*****BLOCO2*/
/*****BLOCO3*/

```

```

void setup(void){
  x=0;
  Serial.begin(9600);
  pinMode(led0Pin, OUTPUT); // declara o pino do led como saída
  pinMode(led1Pin, OUTPUT); // declara o pino do led como saída
  pinMode(led2Pin, OUTPUT); // declara o pino do led como saída
  pinMode(outputPin, OUTPUT); // declara o pino da tecla como entrada
}

```

```

/*****BLOCO3*/
/*****BLOCO4*/

```

```

void loop(void){

  if(x==0){
    Serial.println(versao);//cabeçalho
    x=1;
  }
  //_____PROCESSAMENTO DE DADOS
  RECEBIDOS_____

```

```

  if (Serial.available() > 0) {
    msg = Serial.readString();
    Serial.print(msg);
  }

```

```

//_____LISTA DE COMANDOS_____

```

```

  if (msg.endsWith("$")) {

```

```
int dadovalido = msg.indexOf("$");  
msg.remove(dadovalido);
```

```
if (msg=="aaaa,256"){  
    digitalWrite(outputPin, HIGH);  
    Serial.println("Ligar Canal 1");  
}
```

```
if (msg=="aaaa,128"){  
    digitalWrite(outputPin, LOW);  
    Serial.println("Desligar Canal 1");  
}
```

```
if (msg=="bbbb,256"){  
    digitalWrite(outputPin, HIGH);  
    Serial.println("Ligar Canal 1");  
}
```

```
if (msg=="bbbb,128"){  
    digitalWrite(outputPin, LOW);  
    Serial.println("Desligar Canal 1");  
}
```

```
if (msg=="dddd,256"){  
    digitalWrite(led0Pin, HIGH);  
    Serial.println("Acende LED RED");  
}
```

```
if (msg=="dddd,128"){  
    digitalWrite(led0Pin, LOW);  
    Serial.println("Apaga LED RED");  
}
```

```

    }
    if (msg=="eeee,256"){
        digitalWrite(led1Pin, HIGH);
        Serial.println("Acende LED GREEN");
    }

    if (msg=="eeee,128"){
        digitalWrite(led1Pin, LOW);
        Serial.println("Apaga LED GREEN");
    }
    if (msg=="ffff,256"){
        digitalWrite(led2Pin, HIGH);
        Serial.println("Acende LED BLUE");
    }

    if (msg=="ffff,128"){
        digitalWrite(led2Pin, LOW);
        Serial.println("Apaga LED BLUE");
    }
}

if ( y > 3 && recByte[0] == 85 && recByte[1] == 85 && recByte[2] == 85){
//Comando de Calibração
    Serial.print(recByte[3],DEC);
    Serial.print(";");
    Serial.print("\n");
    tag=0;
}*/
}
/*****BLOCO4*/

```

**Modelo 2**

```

/*****

```

```

***BLOCO1

```

```

* INSTITUIÇÃO :

```

```

    Fatec São Paulo

```

```

* NOME DO PROJETO:

```

```

    Recepção de dados via luz de led.

```

```

* AUTOR:

```

```

    Gustavo Palma

```

```

    Marcelo Rua

```

```

    Rafael Benetti Santos

```

```

* HISTÓRICO DE REVISÕES:

```

```

    Versão V1.0 18/07/2018 - Estruturação do código.

```

```

* DESCRIÇÃO:

```

```

    O programa de Recepção via luz de Led recebe os dados transmitidos
    em um baud-rate de 9600 decodificando e enviando via serial para
    executar uma ação predefinida ou mostrar no Display;

```

```

* CONFIGURAÇÃO:

```

```

    MCU: ARDUINO MEGA

```

```

    MODULOS EXTERNOS: 2.8" TFT Touch Shield for Arduino

```

```

    SW COMPILADOR: Arduino 1.6.9

```

```

****

```

```

***BLOCO1*/

```

```

/*****

```

```

**BLOCO2*/

```

```

#include <Adafruit_GFX.h> // Biblioteca para graficos

```

```

#include <Adafruit_TFTLCD.h> // Biblioteca especifica para a Tela LCD

```

```

// Pinos de controle do LCD

```

```

#define LCD_CS A3 // Chip Select

```

```

#define LCD_CD A2 // Command/Data

```

```

#define LCD_WR A1 // LCD Write

```

```

#define LCD_RD A0 // LCD Read

```

```

#define LCD_RESET A4 // Reset

```

```

// Define nomes de cores comuns em valores hexadecimais:

```

```

#define BLACK 0x0000

```

```

#define BLUE 0x001F

```

```

#define RED 0xF800

```

```

#define GREEN 0x07E0

```

```

#define CYAN 0x07FF

```

```

#define MAGENTA 0xF81F

```

```

#define YELLOW 0xFFE0

```

```

#define WHITE 0xFFFF

```

```

//Configuração do shield LCD da Adafruit
Adafruit_TFTLCD tft(LCD_CS, LCD_CD, LCD_WR, LCD_RD, LCD_RESET);

String msg;

/*****
***BLOCO2*/
****
****BLOCO3*/
void setup(void) {

    pinMode(49, OUTPUT); //LED RED
    pinMode(51, OUTPUT); //LED GREEN
    pinMode(53, OUTPUT); //LED BLUE
    Serial.begin(9600);
    Serial.println(F("TFT LCD test"));

#ifdef USE_ADAFRUIT_SHIELD_PINOUT
    Serial.println(F("Using Adafruit 2.8\" TFT Arduino Shield Pinout"));
#else
    Serial.println(F("Using Adafruit 2.8\" TFT Breakout Board Pinout"));
#endif

    Serial.print("TFT size is "); Serial.print(tft.width()); Serial.print("x");
    Serial.println(tft.height());

    tft.reset();

    uint16_t identifier = tft.readID();
    identifier = 0x9341;
    if (identifier == 0x9325) {
        Serial.println(F("Found ILI9325 LCD driver"));
    } else if (identifier == 0x9328) {
        Serial.println(F("Found ILI9328 LCD driver"));
    } else if (identifier == 0x7575) {
        Serial.println(F("Found HX8347G LCD driver"));
    } else if (identifier == 0x9341) {
        Serial.println(F("Found ILI9341 LCD driver"));
    } else if (identifier == 0x8357) {
        Serial.println(F("Found HX8357D LCD driver"));
    } else {
        Serial.print(F("Unknown LCD driver chip: "));
        Serial.println(identifier, HEX);
        Serial.println(F("If using the Adafruit 2.8\" TFT Arduino shield, the line:"));
        Serial.println(F(" #define USE_ADAFRUIT_SHIELD_PINOUT"));
        Serial.println(F("should appear in the library header (Adafruit_TFT.h)."));
        Serial.println(F("If using the breakout board, it should NOT be #defined!"));
    }
}

```



```

Serial.println(F("Also if using the breakout, double-check that all wiring"));
Serial.println(F("matches the tutorial."));
return;
}

//BLOCO DESENHA FUNDO DE TELA (ELEMENTOS FIXOS):

tft.begin(identifier);

tft.fillScreen(BLACK);
tft.setRotation(3);
tft.setCursor(30, 9);
tft.setTextColor(WHITE); tft.setTextSize(1);
tft.println("TCC Fatec SP - Eletronica Industrial 2018");
tft.setCursor(6, 30);
tft.setTextColor(YELLOW); tft.setTextSize(2);
tft.println("Comando Recebido:");

tft.setCursor(6, 98);
tft.setTextColor(YELLOW); tft.setTextSize(2);
tft.println("Estado LEDs RGB:");

tft.setCursor(30, 120);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.setTextSize(3);
tft.println("RED GREEN BLUE");
tft.fillCircle(13, 130, 10, 0x6001);
tft.fillCircle(105, 130, 10, 0x0200);
tft.fillCircle(229, 130, 10, 0x0008);

tft.setCursor(6, 148);
tft.setTextColor(YELLOW); tft.setTextSize(2);
tft.println("Mensagem Recebida:");

}
/*****
***BLOCO3*/
*****/
void loop(void) {

tft.drawRoundRect(3, 50, 317, 40, 10, GREEN);
tft.drawRoundRect(3, 168, 317, 72, 10, BLUE);

//_____PROCESSAMENTO DE DADOS RECEBIDOS_____

```

```

if (Serial.available() > 0) {
    msg = Serial.readString();

    if (msg.endsWith("$$")) {

        int dadovalido = msg.indexOf("$$");
        msg.remove(dadovalido); //Elimina a exibição de caracteres $$ no fim da
mensagem/comando

        tft.fillRect(4, 166, 316, 74, BLACK);
        tft.setCursor(20, 58);
        tft.setTextColor(RED); tft.setTextSize(3);
        tft.fillRect(3, 50, 317, 40, BLACK);
        tft.println("Mensagem texto");
        tft.setCursor(10, 175);
        tft.setTextSize(2);
        tft.setTextColor(WHITE);
        tft.println(msg);
    }
}

```

---

#### // \_\_\_\_\_LISTA DE COMANDOS\_\_\_\_\_

---

```

if (msg=="aaaa,256"){
    tft.setCursor(20, 58);
    tft.setTextColor(RED); tft.setTextSize(3);
    tft.fillRect(3, 50, 317, 40, BLACK);
    tft.println("Ligar Canal 1");
}

if (msg=="aaaa,128"){
    tft.setCursor(20, 58);
    tft.setTextColor(RED); tft.setTextSize(3);
    tft.fillRect(3, 50, 317, 40, BLACK);
    tft.println("Desligar Canal 1");
}

if (msg=="bbbb,256"){
    tft.setCursor(20, 58);
    tft.setTextColor(RED); tft.setTextSize(3);
    tft.fillRect(3, 50, 317, 40, BLACK);
    tft.println("Ligar Canal 2");
}

if (msg=="bbbb,128"){
    tft.setCursor(20, 58);
    tft.setTextColor(RED); tft.setTextSize(3);
    tft.fillRect(3, 50, 317, 40, BLACK);
    tft.println("Desligar Canal 2");
}

```

```
}

if (msg=="dddd,256"){
  tft.fillCircle(13, 130, 10, RED);
  tft.setCursor(20, 58);
  tft.setTextColor(RED); tft.setTextSize(3);
  tft.fillRect(3, 50, 317, 40, BLACK);
  tft.println("Acende LED RED");
  digitalWrite(53, HIGH);
}

if (msg=="dddd,128"){
  tft.fillCircle(13, 130, 10, 0x6001);
  tft.setCursor(20, 58);
  tft.setTextColor(RED); tft.setTextSize(3);
  tft.fillRect(3, 50, 317, 40, BLACK);
  tft.println("Apaga LED RED");
  digitalWrite(53, LOW);
}

if (msg=="eeee,256"){
  tft.fillCircle(105, 130, 10, GREEN);
  tft.setCursor(20, 58);
  tft.setTextColor(RED); tft.setTextSize(3);
  tft.fillRect(3, 50, 317, 40, BLACK);
  tft.println("Acende LED GREEN");
  digitalWrite(51, HIGH);
}

if (msg=="eeee,128"){
  tft.fillCircle(105, 130, 10, 0x0200);
  tft.setCursor(20, 58);
  tft.setTextColor(RED); tft.setTextSize(3);
  tft.fillRect(3, 50, 317, 40, BLACK);
  tft.println("Apaga LED GREEN");
  digitalWrite(51, LOW);
}

if (msg=="ffff,256"){
  tft.fillCircle(229, 130, 10, BLUE);
  tft.setCursor(20, 58);
  tft.setTextColor(RED); tft.setTextSize(3);
  tft.fillRect(3, 50, 317, 40, BLACK);
  tft.println("Acende LED BLUE");
  digitalWrite(49, HIGH);
}
```

```

if (msg=="ffff,128"){
tft.fillCircle(229, 130, 10, 0x0008);
tft.setCursor(20, 58);
tft.setTextColor(RED); tft.setTextSize(3);
tft.fillRect(3, 50, 317, 40, BLACK);
tft.println("Apaga LED BLUE");
digitalWrite(49, LOW);
}
}
}
}
/*****
***BLOCO4*/

```

### APÊNDICE C – Lista de Componentes Utilizados

B.O.M Placa Transmissora e Receptora						
ID	Valor	Qtd	Referência	Manufacturer Part Number	Preço Unitário	Preço Parcial
1	4pF SMD 0805	1	C9	CC0805CRNPO9BN4R0	\$ 0,15	\$ 0,15
2	4.7nF	1	C6	C0805C472KARACAUTO	\$ 0,28	\$ 0,28
3	10nF	1	C11	C0805C103KCRAAUTO	\$ 0,31	\$ 0,31
4	0,1uF _50V	1	C12	860020672001	\$ 0,10	\$ 0,10
5	100nF	3	C2 C4 C10	C0805C104M5UACTU	\$ 0,19	\$ 0,57
6	1uF _25V	1	C3	ULD1H010MDD1TD	\$ 0,27	\$ 0,27
7	1uF	2	C1 C5	CC0805KKX7R7BB105	\$ 0,25	\$ 0,50
8	10uF	1	C7	CL21B106KOQNNNE	\$ 0,34	\$ 0,34
9	22uF	1	C8	CL32B226KOJNNNE	\$ 0,80	\$ 0,80
10	MOLEXkk2.54-3VIAS	1	CN1	22232041	\$ 0,27	\$ 0,27
11	Conn_01x04	1	CN2	22232041	\$ 0,27	\$ 0,27
12	1N4007	1	D3	1N4007	\$ 0,18	\$ 0,18
13	1N4148	1	D2	1N4148W-TP	\$ 0,14	\$ 0,14
14	BPW21R	1	D1	BPW21R	\$ 12,32	\$ 12,32
15	Conn_01x02	1	J3	22-01-3027	\$ 0,12	\$ 0,12
16	Barrel_Jack	1	J4	PJ-031D	\$ 0,61	\$ 0,61
17	Conn_01x06_Female	1	J1	M20-7820542	\$ 0,90	\$ 0,90
18	Conn_01x02	1	J2	22-23-2021	\$ 0,16	\$ 0,16
19	BSS138	2	Q1 Q2	BSS138L	\$ 0,27	\$ 0,54
21	P16NF06	1	Q3	STP16NF06L	\$ 1,09	\$ 1,09
22	258R SMD 0805 1%	1	R21	TNPW0805258RBETA	\$ 0,10	\$ 0,10
23	1K SMD 0805 1%	2	R7 R20	ERJ-6GEYJ102V	\$ 0,10	\$ 0,20
24	2K2 SMD 0805 1%	1	R22	RMCF0805JT2K20	\$ 0,10	\$ 0,10
25	4K7 SMD 0805 1%	1	R14	RMCF0805JT4K70	\$ 0,10	\$ 0,10
26	10K SMD 0805 1%	14	R3 R17 R18 R19 R1 R4 R5 R6 R8 R9 R11 R12	RC0805JR-0710KL	\$ 0,02	\$ 0,32

			R13 R16			
27	100K SMD 0805 1%	2	R2 R10	RC2012J104CS	\$ 0,10	\$ 0,20
28	220K SMD 0805 1%	1	R15	KTR10EZPF2203	\$ 0,19	\$ 0,19
29	125K SMD 0805 1%	1	RB1	RNCF0805BTE125K	\$ 0,10	\$ 0,10
30	LMV862	1	U1	LMV862MM/NOPB	\$ 2,73	\$ 2,73
31	LT1117-3.3	1	U3	LT1117CST-3.3#PBF	\$ 3,97	\$ 3,97
32	LM393	1	U2	LM393ADR	\$ 0,36	\$ 0,36
33	LM317_TO3	1	U4	LM317AT/NOPB	\$ 1,58	\$ 1,58
34	Arduino_UNO	1	XA1	A000073	\$ 22,00	\$ 22,00
35	Bluetooth_HC-05	1	J1	hc 05	R\$ 29,90	R\$ 29,90
36	Lampada LED 5W	1	LA1	Spot Led Cob 5W Embutir	R\$ 14,90	R\$ 14,90
37	PCI	1		Layout Placa de circuito impresso	R\$ 56,78	R\$ 56,78

\*Dolar em 21/07/2018

R\$

3,77

Total Itens Importados

\$ 51,87

R\$

195,56

<https://dolarhoje.com/>

Total Nacional

R\$ 101,58

Preço final do conjunto Transmissor e Receptor

R\$

297,14

Arduino\_nano

1

A000005

R\$ 22,00

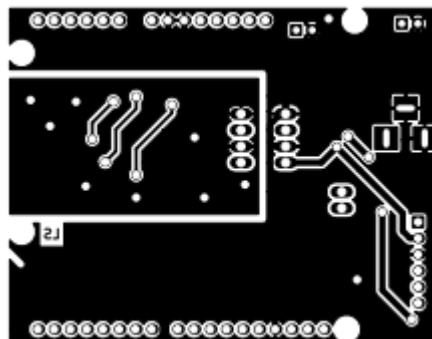
Arduino\_mega

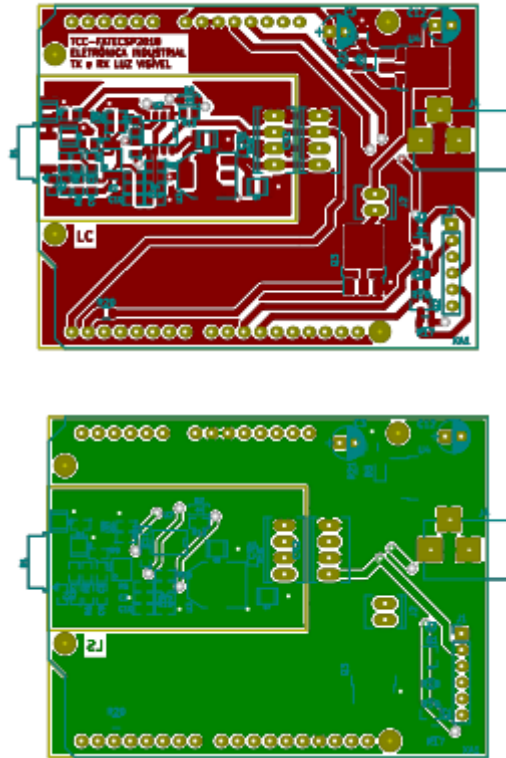
1

A000062

R\$37,40

## APÊNDICE D – Layout do Transmissor/ Receptor





## APÊNDICE E – Tabela de dados coletados

**Dados coletados para o sistema com variação de distância e ângulo de incidência da lâmpada de LED no fotodiodo**

[illegible]

[illegible]

[illegible]



95	95;	95;	95;	95;	95;	95;	95;	95;	95;	95;	95;	95;	95;	95;	95;
96	96;	96;	96;	96;	96;	96;	96;	96;	96;	96;	96;	96;	96;	96;	96;
97	97;	97;	97;	97;	97;	97;	97;	97;	97;	97;	97;	97;	97;	97;	97;
98	98;	98;	98;	98;	98;	98;	98;	98;	98;	98;	98;	98;	98;	98;	98;
99	99;	99;	99;	99;	99;	99;	99;	99;	99;	99;	99;	99;	99;	99;	99;
100	100;	100;	100;	100;	100;	100;	100;	100;	100;	100;	100;	100;	100;	100;	100;
101	101;	101;	101;	101;	101;	101;	101;	101;	101;	101;	101;	101;	101;	101;	101;
102	102;	102;	102;	102;	102;	102;	102;	102;	102;	102;	102;	102;	102;	102;	102;
103	103;	103;	103;	103;	103;	103;	103;	103;	103;	103;	103;	103;	103;	103;	103;
104	104;	104;	104;	104;	104;	104;	104;	104;	104;	104;	104;	104;	104;	104;	104;
105	105;	105;	105;	105;	105;	105;	105;	105;	105;	105;	105;	105;	105;	105;	105;
106	106;	106;	106;	106;	106;	106;	106;	106;	106;	106;	106;	106;	106;	106;	106;
107	107;	107;	107;	107;	107;	107;	107;	107;	107;	107;	107;	107;	107;	107;	107;
108	108;	108;	108;	108;	108;	108;	108;	108;	108;	108;	108;	108;	108;	108;	108;
109	109;	109;	109;	109;	109;	109;	109;	109;	109;	109;	109;	109;	109;	109;	109;
110	110;	110;	110;	110;	110;	110;	110;	110;	110;	110;	110;	110;	11111;	110;	110;
111	111;	111;	111;	111;	111;	111;	111;	111;	111;	111;	111;	111;	0;	111;	111;
112	112;	112;	112;	112;	112;	112;	112;	112;	112;	112;	112;	112;	112;	112;	112;
113	113;	113;	113;	113;	113;	113;	113;	113;	113;	113;	113;	113;	113;	113;	113;
114	114;	114;	114;	114;	114;	114;	114;	114;	114;	114;	114;	114;	114;	114;	114;
115	115;	115;	115;	115;	115;	115;	115;	115;	115;	115;	115;	115;	115;	115;	115;
116	116;	116;	116;	116;	116;	116;	116;	116;	116;	116;	116;	116;	116;	116;	116;
117	117;	117;	117;	117;	117;	117;	117;	117;	117;	117;	117;	117;	117;	117;	117;
118	118;	118;	118;	118;	118;	118;	118;	118;	118;	118;	118;	118;	118;	118;	118;
119	119;	119;	119;	119;	119;	119;	119;	119;	119;	119;	119;	119;	119;	119;	119;
120	120;	120;	120;	120;	120;	120;	120;	120;	120;	120;	120;	120;	120;	120;	120;
121	121;	121;	121;	121;	121;	121;	121;	121;	121;	121;	121;	121;	121;	121;	121;
122	122;	122;	122;	122;	122;	122;	122;	122;	122;	122;	122;	122;	122;	122;	122;
123	123;	123;	123;	123;	123;	123;	123;	123;	123;	123;	123;	123;	123;	123;	123;
124	124;	124;	124;	124;	124;	124;	124;	124;	124;	124;	124;	124;	124;	124;	124;
125	125;	125;	125;	125;	125;	125;	125;	125;	125;	125;	125;	125;	125;	125;	125;
126	126;	126;	126;	126;	126;	126;	126;	126;	126;	126;	126;	126;	126;	126;	126;

### Dados coletados para o transmissor alinhado com o receptor

Alinhado distância: 420 cm				
1	2	3	4	5
Dados [bity]				
0;	0;	0;	0;	0;

1;	1;	1;	1;	1;
2;	2;	2;	2;	2;
3;	3;	3;	3;	3;
4;	4;	4;	4;	4;
5;	5;	5;	5;	5;
6;	6;	6;	6;	6;
7;	7;	7;	7;	7;
8;	8;	8;	8;	8;
9;	9;	9;	9;	9;
10;	10;	10;	10;	10;
11;	11;	11;	11;	11;
12;	12;	12;	12;	12;
13;	13;	13;	13;	13;
14;	14;	14;	14;	14;
15;	15;	15;	15;	15;
16;	16;	16;	16;	16;
17;	17;	17;	17;	17;
18;	18;	18;	18;	18;
19;	19;	19;	19;	19;
20;	20;	20;	20;	20;
21;	21;	21;	21;	21;
22;	22;	22;	22;	22;
23;	23;	23;	23;	23;
24;	24;	24;	24;	24;
25;	25;	25;	25;	25;
26;	26;	26;	26;	26;
27;	27;	27;	27;	27;
28;	28;	28;	28;	28;
29;	29;	29;	29;	29;
30;	30;	30;	30;	30;
31;	31;	31;	31;	31;
32;	32;	32;	32;	32;
33;	33;	33;	33;	33;
34;	34;	34;	34;	34;
35;	35;	35;	35;	35;
36;	36;	36;	36;	36;
37;	37;	37;	37;	37;
38;	38;	38;	38;	38;
39;	39;	39;	39;	39;
40;	40;	40;	40;	40;
41;	41;	41;	41;	41;

42;	42;	42;	42;	42;
43;	43;	43;	43;	43;
44;	44;	44;	44;	44;
45;	45;	45;	45;	45;
46;	46;	46;	46;	46;
47;	47;	47;	47;	47;
48;	48;	48;	48;	48;
49;	49;	49;	49;	49;
50;	50;	50;	50;	50;
51;	51;	51;	51;	51;
52;	52;	52;	52;	52;
53;	53;	53;	53;	53;
54;	54;	54;	54;	54;
55;	55;	55;	55;	55;
56;	56;	56;	56;	56;
57;	57;	57;	57;	57;
58;	58;	58;	58;	58;
59;	59;	59;	59;	59;
60;	60;	60;	60;	60;
61;	61;	61;	61;	61;
62;	62;	62;	62;	62;
63;	63;	63;	63;	63;
64;	64;	64;	64;	64;
65;	65;	65;	65;	65;
66;	66;	66;	66;	66;
67;	67;	67;	67;	67;
68;	68;	68;	68;	68;
69;	69;	69;	69;	69;
70;	70;	70;	70;	70;
71;	71;	71;	71;	71;
72;	72;	72;	72;	72;
73;	73;	73;	73;	73;
74;	74;	74;	74;	74;
75;	75;	75;	75;	75;
76;	76;	76;	76;	76;
77;	77;	77;	77;	77;
78;	78;	78;	78;	78;
79;	79;	79;	79;	79;
80;	80;	80;	80;	80;
81;	81;	81;	81;	81;
82;	82;	82;	82;	82;

83;	83;	83;	83;	83;
84;	84;	84;	84;	84;
85;	85;	85;	85;	85;
86;	86;	86;	86;	86;
87;	87;	87;	87;	87;
88;	88;	88;	88;	88;
89;	89;	89;	89;	89;
90;	90;	90;	90;	90;
91;	91;	91;	91;	91;
92;	92;	92;	92;	92;
93;	93;	93;	93;	93;
94;	94;	94;	94;	94;
95;	95;	95;	95;	95;
96;	96;	96;	96;	96;
97;	97;	97;	97;	97;
98;	98;	98;	98;	98;
99;	99;	99;	99;	99;
100;	100;	100;	100;	100;
101;	101;	101;	101;	101;
102;	102;	102;	102;	102;
103;	103;	103;	103;	103;
104;	104;	104;	104;	104;
105;	105;	105;	105;	105;
106;	106;	106;	106;	106;
107;	107;	107;	107;	107;
108;	108;	108;	108;	108;
109;	109;	109;	109;	109;
110;	110;	110;	110;	110;
111;	111;	111;	111;	111;
112;	112;	112;	112;	112;
113;	113;	113;	113;	113;
114;	114;	114;	114;	114;
115;	115;	115;	115;	115;
116;	116;	116;	116;	116;
117;	117;	117;	117;	117;
118;	118;	118;	118;	118;
119;	119;	119;	119;	119;
120;	120;	120;	120;	120;
121;	121;	121;	121;	121;
122;	122;	122;	122;	122;
123;	123;	123;	123;	123;

---

124;	124;	124;	124;	124;
125;	125;	125;	125;	125;
126;	126;	126;	126;	126;

# ANEXO A – Datasheet do fotodiodo BPW21R


[www.vishay.com](http://www.vishay.com)
**BPW21R**

Vishay Semiconductors

## Silicon Photodiode



### FEATURES

- Package type: leaded
- Package form: TO-5
- Dimensions (in mm): Ø 8.13
- Radiant sensitive area (in mm<sup>2</sup>): 7.5
- High photo sensitivity
- Adapted to human eye responsivity
- Angle of half sensitivity:  $\varphi = \pm 50^\circ$
- Hermetically sealed package
- Cathode connected to package
- Flat glass window
- Low dark current
- High shunt resistance
- High linearity
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC and in accordance with WEEE 2002/96/EC


**RoHS**  
COMPLIANT

### DESCRIPTION

BPW21R is a planar Silicon PN photodiode in a hermetically sealed short TO-5 case, especially designed for high precision linear applications.

Due to its extremely high dark resistance, the short circuit photocurrent is linear over seven decades of illumination level.

On the other hand, there is a strictly logarithmic correlation between open circuit voltage and illumination over the same range.

The device is equipped with a flat glass window with built in color correction filter, giving an approximation to the spectral response of the human eye.

### APPLICATIONS

- Sensor in exposure and color measuring purposes

### PRODUCT SUMMARY

COMPONENT	$I_{ra}$ (μA)	$\varphi$ (deg)	$\lambda_{0.5}$ (nm)
BPW21R	9	$\pm 50$	420 to 675

#### Note

- Test condition see table "Basic Characteristics"

### ORDERING INFORMATION

ORDERING CODE	PACKAGING	REMARKS	PACKAGE FORM
BPW21R	Bulk	MOQ: 500 pcs, 500 pcs/bulk	TO-5

#### Note

- MOQ: minimum order quantity

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Reverse voltage		$V_R$	10	V
Power dissipation	$T_{amb} \leq 50^\circ\text{C}$	$P_V$	300	mW
Junction temperature		$T_j$	125	$^\circ\text{C}$
Operating temperature range		$T_{amb}$	- 40 to + 125	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range		$T_{stg}$	- 40 to + 125	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature	$t \leq 5$ s	$T_{sd}$	260	$^\circ\text{C}$
Thermal resistance junction/ambient	Connected with Cu wire, 0.14 mm <sup>2</sup>	$R_{thJA}$	250	K/W

Rev. 1.7, 23-Nov-11

1

Document Number: 81519

For technical questions, contact: [detectortechsupport@vishay.com](mailto:detectortechsupport@vishay.com)

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT [www.vishay.com/doc291000](http://www.vishay.com/doc291000)


[www.vishay.com](http://www.vishay.com)
**BPW21R**

Vishay Semiconductors

<b>BASIC CHARACTERISTICS</b> ( $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Forward voltage	$I_F = 50\text{ mA}$	$V_F$		1.0	1.3	V
Breakdown voltage	$I_R = 20\text{ }\mu\text{A}$ , $E = 0$	$V_{(BR)}$	10			V
Reverse dark current	$V_R = 5\text{ V}$ , $E = 0$	$I_{ro}$		2	30	nA
Diode capacitance	$V_R = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ , $E = 0$	$C_D$		1.2		nF
	$V_R = 5\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ , $E = 0$	$C_D$		400		pF
Dark resistance	$V_R = 10\text{ mV}$	$R_D$		38		$\text{G}\Omega$
Open circuit voltage	$E_A = 1\text{ klx}$	$V_o$	280	450		mV
Temperature coefficient of $V_o$	$E_A = 1\text{ klx}$	$\text{TK}_{V_o}$		-2		mV/K
Short circuit current	$E_A = 1\text{ klx}$	$I_k$	4.5	9		$\mu\text{A}$
Temperature coefficient of $I_k$	$E_A = 1\text{ klx}$	$\text{TK}_{I_k}$		-0.05		%/K
Reverse light current	$E_A = 1\text{ klx}$ , $V_R = 5\text{ V}$	$I_{ra}$	4.5	9		$\mu\text{A}$
Sensitivity	$V_R = 5\text{ V}$ , $E_A = 10^{-2}\text{ to }10^5\text{ lx}$	$S$		9		nA/lx
Angle of half sensitivity		$\varphi$		$\pm 50$		deg
Wavelength of peak sensitivity		$\lambda_p$		565		nm
Range of spectral bandwidth		$\lambda_{0.5}$		420 to 675		nm
Rise time	$V_R = 0\text{ V}$ , $R_L = 1\text{ k}\Omega$ , $\lambda = 660\text{ nm}$	$t_r$		3.1		$\mu\text{s}$
Fall time	$V_R = 0\text{ V}$ , $R_L = 1\text{ k}\Omega$ , $\lambda = 660\text{ nm}$	$t_f$		3.0		$\mu\text{s}$

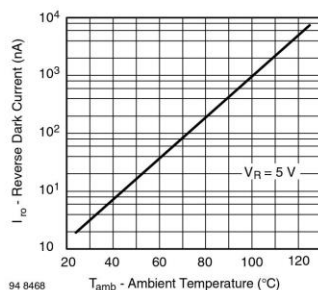
**BASIC CHARACTERISTICS** ( $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)


Fig. 1 - Reverse Dark Current vs. Ambient Temperature

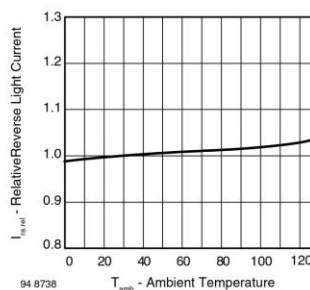


Fig. 2 - Relative Reverse Light Current vs. Ambient Temperature


[www.vishay.com](http://www.vishay.com)
**BPW21R**

Vishay Semiconductors

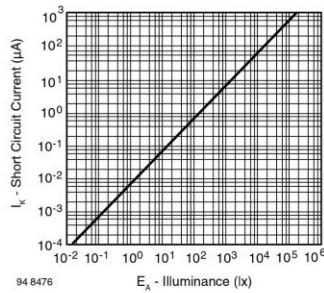


Fig. 3 - Short Circuit Current vs. Illuminance

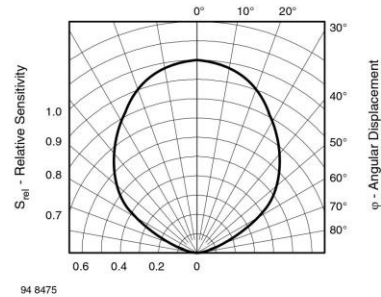


Fig. 6 - Relative Radiant Sensitivity vs. Angular Displacement

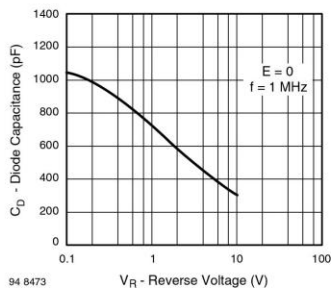


Fig. 4 - Diode Capacitance vs. Reverse Voltage

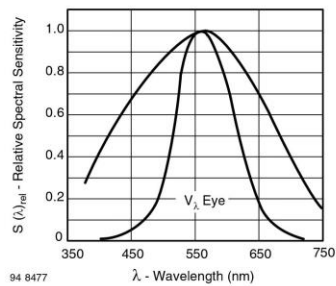
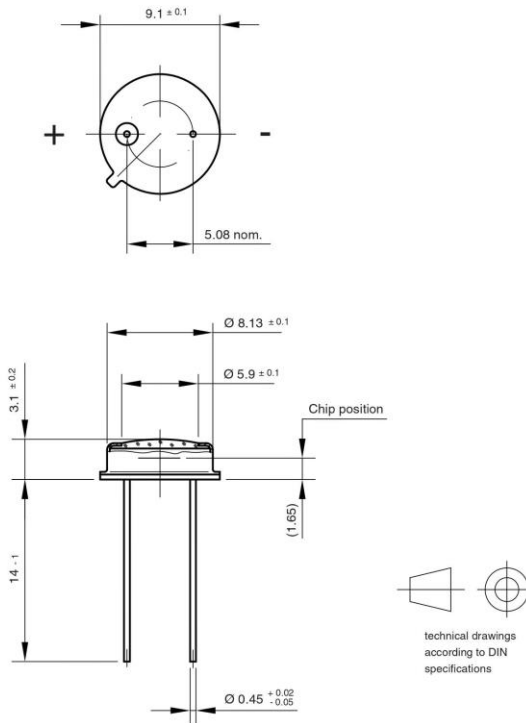


Fig. 5 - Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength




[www.vishay.com](http://www.vishay.com)
**BPW21R**

Vishay Semiconductors

**PACKAGE DIMENSIONS** in millimeters


Drawing-No.: 6.511-5002.01-4  
 Issue: 1; 01.07.96  
 96 12181

[www.vishay.com](http://www.vishay.com)

## Legal Disclaimer Notice

Vishay

### Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and / or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.