

## DOM HELDER ESCOLA SUPERIOR

Hugo Oliveira Soares

# **Comunicação por luz visível: Construindo um protótipo usando SBC e explorando o potencial da tecnologia VLC**

Belo Horizonte

2023

Hugo Oliveira Soares

**Comunicação por luz visível:  
Construindo um protótipo usando SBC e explorando o  
potencial da tecnologia VLC**

Projeto de Pesquisa apresentado à Dom Helder Escola Superior como requisito parcial para obtenção do título de Cientista da Computação.

Orientador de conteúdo: Prof. Marden Cicarelli Pinheiro

Orientador de metodologia: Prof. Ricardo Luiz de Freitas

Belo Horizonte  
2023

# Listas de ilustrações

Figura 1 – Indicadores de uso da Internet . . . . .	2
Figura 2 – Demonstração das ondas resultantes . . . . .	7
Figura 3 – O espectro eletromagnético . . . . .	8
Figura 4 – Diagrama de cromaticidade CIE 1931 . . . . .	9
Figura 5 – Diagrama do hardware do <i>OpenVLC</i> . . . . .	10
Figura 6 – Foto do hardware do <i>OpenVLC</i> . . . . .	10
Figura 7 – Raspberry Pi 3 . . . . .	12
Figura 8 – Orange Pi 3 LTS . . . . .	13
Figura 9 – BeagleBone Black . . . . .	13
Figura 10 – Esquema do circuito emissor . . . . .	15
Figura 11 – Esquema do circuito emissor . . . . .	15
Figura 12 – Esquema do circuito receptor . . . . .	16
Figura 13 – Esquema do circuito receptor . . . . .	16

# Sumário

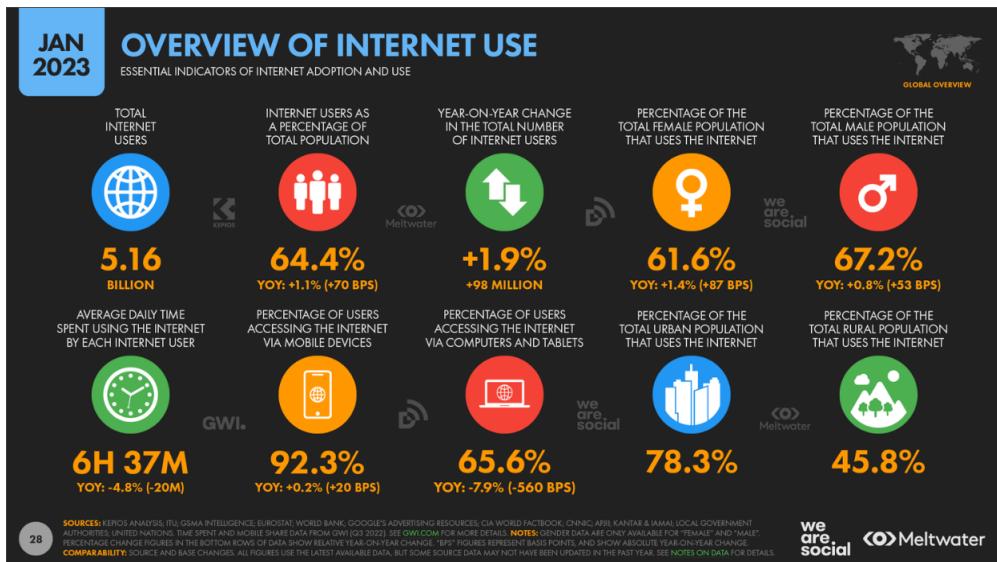
<b>Lista de ilustrações . . . . .</b>	<b>ii</b>
<b>Sumário . . . . .</b>	<b>iii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>2</b>
<b>2 OBJETIVOS . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Objetivo geral . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Objetivos específicos . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>3 JUSTIFICATIVA . . . . .</b>	<b>5</b>
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>4.1 Padrão IEEE 802.11 . . . . .</b>	<b>6</b>
4.1.1 Faixas 2.4Ghz e 5Ghz . . . . .	6
<b>4.2 Interferência de Ondas . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>4.3 Visible Light Communication (VLC) . . . . .</b>	<b>7</b>
4.3.1 O que é o VLC? . . . . .	7
4.3.2 Aplicações . . . . .	7
4.3.3 Vantagens . . . . .	8
4.3.4 Desvantagens . . . . .	8
4.3.5 Modulação . . . . .	9
4.3.5.1 On-Off Keying (OOK) . . . . .	9
4.3.5.2 Color Shift Keying (CSK) . . . . .	9
<b>4.4 OpenVLC . . . . .</b>	<b>10</b>
<b>5 METODOLOGIA . . . . .</b>	<b>11</b>
<b>5.1 Single Board Computer (SBC) . . . . .</b>	<b>11</b>
5.1.1 RaspberryPI . . . . .	12
5.1.2 OrangePI . . . . .	12
5.1.3 BeagleBone Black . . . . .	13

<b>5.2</b>	<b>Linux . . . . .</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS ESPERADOS . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>DESENVOLVIMENTO . . . . .</b>	<b>15</b>
<b>7.1</b>	<b>Círcuito . . . . .</b>	<b>15</b>
7.1.1	Emissor . . . . .	15
7.1.2	Receptor . . . . .	16
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>17</b>

# 1 Introdução

Com o aumento da popularidade da internet em todo o mundo, é notável que as redes *wifi* têm crescido significativamente, juntamente com o número de usuários e de dispositivos IoT (Internet Of Things) (MATHEUS et al., 2017). De acordo com o relatório Digital 2023: Global Overview Report (KEMP, 2023), publicado pelo site Data-reportal, há cerca de 5,16 bilhões de usuários na internet. No entanto, esse aumento na demanda por *wifi* tem causado um problema, que é a congestão das faixas do espectro eletromagnético reservadas para essas redes, assim afetando a sua eficiência.

Figura 1 – Indicadores de uso da Internet



Fonte: Kemp (2023)

As redes *wireless* utilizam ondas eletromagnéticas para a transmissão de dados e informações, o que inviabiliza ou dificulta a sua utilização em alguns lugares, como em hospitais e aeronaves, por exemplo, por interferir com equipamentos hospitalares e com a antena de transmissão no caso dos voos.

Diante desses cenários, o *Visible Light Communication* (VLC) se mostra como um forte candidato para a solução destes problemas. Verifica-se que o espectro da luz visível, possui 10 mil vezes mais faixas de frequência se comparado com as ondas de rádio (CONCEIÇÃO, 2015, p. 14). Ou seja, é possível que um único “roteador” se

comunique com mais dispositivos ao mesmo tempo.

Para o problema de interferência o VLC também é uma solução, visto que utiliza a luz visível como forma de transmitir as informações, assim não gerando interferências eletromagnéticas em outros aparelhos eletrônicos ou em redes *wifi*.

O estudo objetiva verificar a viabilidade de implementação do sistema VLC com um *SBC* (*Single Board Computer*), através da construção de um protótipo. A pesquisa experimental surgiu da necessidade de uma nova forma de transmissão de dados com pouca interferência e de baixo custo, abrindo uma possibilidade de levar comunicação em locais onde não era possível recorrer a uma rede *wireless*.

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo geral

O propósito desta pesquisa é a construção de um protótipo de um sistema de comunicação VLC, baseado no projeto *OpenVLC*, utilizando exemplares de SBC. O objetivo principal é que o sistema seja capaz de transmitir e receber um pequeno pacote de dados.

### 2.2 Objetivos específicos

- Explicar o que é VLC
  - Explicar o funcionamento
  - Analisar as vantagens, desvantagens e as aplicações.
- Implementar um protótipo
- Avaliar o desempenho do protótipo
  - Comparar o desempenho entre as SBCs selecionadas

### 3 Justificativa

Segundo o autor Tanenbaum o comitê do IEEE definiu que as redes no padrão 802.11, *wifi*, utilizariam as frequências de 2,4GHz e 5GHz e que todos os dispositivos têm a permissão para utilizá-los desde que limitem a sua potência para permitir que dispositivos diferentes coexistam. O autor Barros (2014) também cita que há muitos outros equipamentos eletrônicos que geram ondas também na faixa de 2,4GHz.

Devido a faixa de 2,4GHz ser internacionalmente regulamentada ela não necessita de licença para a sua utilização e com a popularidade das redes sem fio a faixa tem concentrado grande parte da demanda por frequência. Assim o seu compartilhamento tem se tornado bastante denso fazendo com que os receptores lidem constantemente com interferências (BARROS, 2014). Segundo Genachowski (2013) o problema do congestionamento do espectro é crescente e está cada vez mais comum nas residências.

Outro problema enfrentado pelas redes sem fio é a interferência eletromagnética gerada por dispositivos elétricos que pode afetar o funcionamento da comunicação e vice-versa, como por exemplo um forno de microondas. Esses aparelhos operam na faixa de 2,45GHz, assim provocando um aumento nas taxas de erro nos dados que trafegam nas redes (BARROS, 2014). Já no caso contrário as redes móveis podem provocar alterações no funcionamento de dispositivos hospitalares e colocar em risco a vida dos pacientes (CABRAL, 2001).

A construção de um protótipo de um sistema VLC se dá pelo seu grande potencial de solucionar os problemas citados acima. Como o VLC utiliza uma faixa de comprimento de onda que vai de cerca de 380nm até 780nm, permite que a tecnologia ofereça uma faixa de frequências cerca de 10 mil vezes maior do que a radiofrequência, permitindo que mais dispositivos se conectem no mesmo ponto de acesso assim solucionando o problema do congestionamento do espectro (CONCEIÇÃO, 2015).

Como a luz visível não interfere em equipamentos eletrônicos, o VLC tem a possibilidade de operar em locais onde a RF não é desejada, como por exemplo em hospitais, evitando o mau funcionamento dos dispositivos.

## 4 Referencial teórico

Este capítulo apresenta os temas necessários para o desenvolvimento desse estudo e que devem ser tratados mais profundamente já que afetam diretamente o foco principal do trabalho. Este capítulo foi estruturado em 4 tópicos, a saber: informações sobre o padrão 802.11 e as faixas utilizadas por ele, interferência de ondas, a tecnologia VLC e o projeto *OpenVLC*.

### 4.1 Padrão IEEE 802.11

Quando os computadores receberam transmissores e receptores de rádio várias empresas começaram a comercializar LANs sem fios, porém não havia uma padronização para a comunicação, ou seja, um computador equipado com um rádio da marca X não era compatível com o computador equipado com o rádio da marca Y. Diante deste problema surgiu a necessidade de se criar um padrão para as LANs sem fios, assim o comitê do IEEE criou o padrão 802.11 mais conhecido como *wifi* (TANENBAUM, 2011).

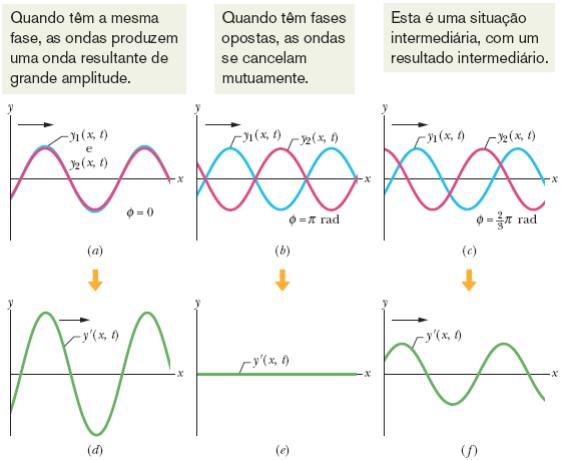
#### 4.1.1 Faixas 2.4Ghz e 5Ghz

As faixas de rádio que o *wifi* utiliza são as faixas de 2,4GHz e 5GHz, as duas bandas não necessitam de licença para a sua utilização contudo os aparelhos devem limitar a sua potência para permitir que diferentes dispositivos coexistam. Como a utilização da faixa é livre é muito provável que os equipamentos de *wifi* tenham que lidar constantemente com interferências (TANENBAUM, 2011).

### 4.2 Interferência de Ondas

Se duas ondas senoidais de mesmo comprimento de onda são propagadas em uma corda no mesmo sentido mas estão defasadas, ou seja, os picos estão alinhados com os vales da outra, elas se cancelam mutuamente e o deslocamento é zero. Este fenômeno é chamado de interferência (HALLIDAY et al., 2016a).

Figura 2 – Demonstração das ondas resultantes



Fonte: Halliday et al. (2016a)

## 4.3 Visible Light Communication (VLC)

Nesta seção será apresentado o que é o VLC e conceitos relacionados ao tema, como a aplicações, vantagens e desvantagens e as formas de se modular a informação para que seja possível existir uma comunicação.

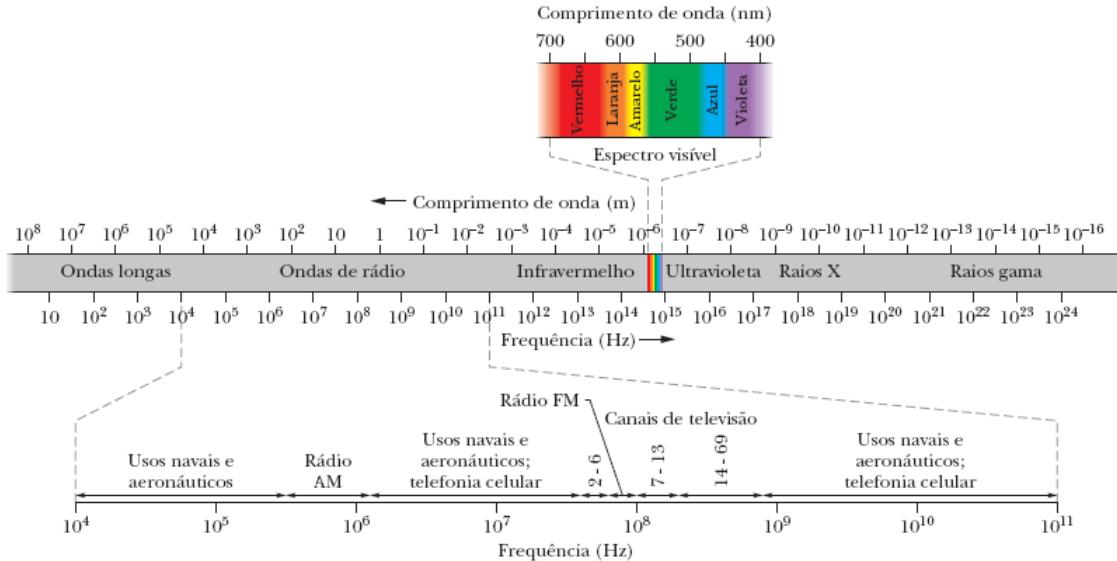
### 4.3.1 O que é o VLC?

Sistemas VLC são caracterizados por se comunicar utilizando a luz visível para modular as informações, ou seja, são utilizadas ondas que estão na faixa de 390nm a 700nm. Embora a luz visível seja usada para comunicação, o objetivo é que a transmissão seja imperceptível para o usuário, de modo que se assemelhe apenas a iluminação comum de uma lâmpada (MATHEUS et al., 2017).

### 4.3.2 Aplicações

A tecnologia do VLC pode ser utilizada de diversas formas como redes sem fio domésticas, pode ser utilizado para serviços de localização interna, já que o sinal de GPS não atravessa paredes. Também pode ser utilizado em locais onde ondas de rádio não são muito desejáveis como cabines de avião e em hospitais (MATHEUS et al., 2017).

Figura 3 – O espectro eletromagnético



Fonte: Halliday et al. (2016b)

#### 4.3.3 Vantagens

Dentre as diversas vantagens do VLC está o baixo consumo de energia, já que utiliza lâmpadas de leds que consomem pouca energia, reduzindo em até 75% o consumo se comparado com outras lâmpadas. Outra vantagem proporcionada pelo uso de leds é a redução de custo já que são mais baratos e altamente duráveis, não necessitando de trocas frequentes (MATHEUS et al., 2017).

Também nota-se vantagem em relação à segurança: como a luz não atravessa meios opacos, a interceptação do sinal por um invasor fica dificultada, uma vez que demandaria a presença física no mesmo local (CONCEIÇÃO, 2015).

#### 4.3.4 Desvantagens

Mesmo que a tecnologia VLC seja inovadora e que apresenta vantagens também existem algumas desvantagens, Matheus et al. e Conceição citam algumas:

- Pequeno alcance.
- Sujeito a interrupções devido a algum objeto que está na frente do receptor.
- O desempenho pode ser prejudicado se houver fontes diversas de luz no mesmo ambiente, gerando interferência.

### 4.3.5 Modulação

#### 4.3.5.1 On-Off Keying (OOK)

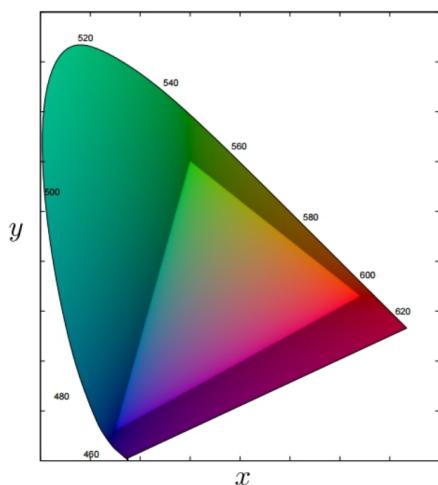
Esta forma de modulação transmite os bits acendendo e apagando a lâmpada, mas também é possível somente reduzir a intensidade da luz para representar o bit 0, já que no caso de se houver a transmissão de um byte *100001*, por exemplo, a lâmpada ficaria desligada por muito tempo, assim afetando a percepção do usuário (MATHEUS et al., 2017).

#### 4.3.5.2 Color Shift Keying (CSK)

O sinal é modulado através da intensidade de 3 cores, sendo elas vermelho, verde e azul, essas três cores juntas geram a luz branca. Como cita Matheus et al. a modulação OOK possui taxas de envio muito baixas por isso esta modulação foi proposta especificamente para o VLC (MATHEUS et al., 2017).

A modulação é feita relacionando cada bit a uma cor das coordenadas CIE 1931, Abraham explica que é um sistema de correspondência de cores que permite especificar numericamente uma cor com o objetivo de reproduzi-la com precisão. Existem 7 bandas de comprimento que podem ser selecionadas para determinar as vértices de um triângulo no qual os pontos da constelação dos símbolos CSK estão. Cada ponto selecionado determina a intensidade da cor no led RGB (MATHEUS et al., 2017).

Figura 4 – Diagrama de cromaticidade CIE 1931

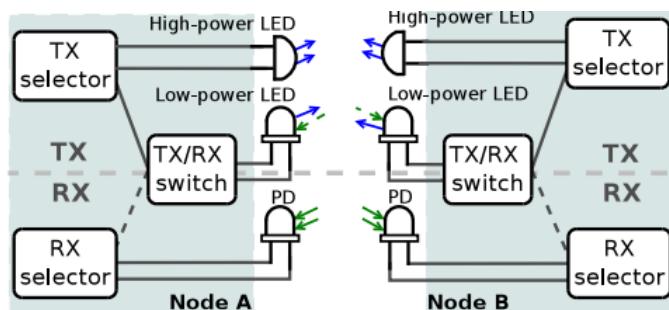


Fonte: Monteiro e Hranilovic (2014 apud MATHEUS et al., 2017)

## 4.4 OpenVLC

O OpenVLC é uma plataforma *open source* baseada em Linux e na plataforma Beagle Bone Black (BBB), projetada para ser de baixo custo e é utilizada em pesquisas de redes VLC. O projeto consiste em um *hardware* para a transmissão e recepção e sua implementação de *software* atua na camada de enlace (WANG et al., 2015).

Figura 5 – Diagrama do hardware do OpenVLC



Fonte: Wang et al. (2015)

Figura 6 – Foto do hardware do OpenVLC



Fonte: Wang et al. (2015)

## 5 Metodologia

Segundo Wiltgen (2019), um protótipo é uma representação similar ao produto a ser desenvolvido, criado com o intuito de realizar testes e ensaios para que as funcionalidades se comportem como esperado no ambiente de uso. Nesse contexto, o objetivo principal deste trabalho é implementar um protótipo de um sistema VLC utilizando um SBC como plataforma de desenvolvimento. Durante o desenvolvimento foram utilizados elementos de metodologias ágeis como os do *Scrum* e do *Kanban*.

O *Scrum* é uma estrutura que define diversos eventos como as *sprints* que são ciclos de desenvolvimento com um tempo definido, geralmente de duas semanas, e a retrospectiva que é o momento em que a equipe discute o que foi bom ou ruim no ciclo (*sprint*) que se passou. O *Scrum* também define os membros da equipe e suas responsabilidades, como o PO, o *Scrum Master* e a equipe de desenvolvimento (DRUMOND, 2022).

O *Kanban* é uma estrutura que permite a visualização dos itens de trabalho que são organizados em um quadro que é dividido em *To Do*, *In Progress* e *Done* (RADIGAN, 2022).

Para a avaliação do desempenho das SBCs selecionadas foram coletadas as informações de uso do processador, o uso de memória RAM e também a taxa de erros durante a transmissão de um pacote de dados.

### 5.1 Single Board Computer (SBC)

*Single Board Computer* (SBC) é um computador onde todos os componentes necessários estão em uma mesma placa de circuito impresso. Esse tipo de dispositivo é muito utilizado para fins educacionais, para desenvolvimento de sistemas, datacenters (centros de processamento de dados) e clusters portáteis. Alguns exemplos são o *OrangePI*, *RockPI*, *BeagleBone* e *RaspberryPI*, sendo este um dos mais populares (NETO et al., 2021).

Os SBCs geralmente são de baixo custo, porém devido a escassez global de semicondutores reduziu a sua disponibilidade e por consequência levou ao aumento dos

preços (ZENG, 2022). Principalmente do *RaspberryPI* que passou de 45 dólares para 161 dólares, por esse motivo o SBC *OrangePI* foi selecionado para o desenvolvimento deste trabalho.

### 5.1.1 RaspberryPI

A *Raspberry Pi Foundation* foi fundada em 2008 sediada no Reino Unido com o objetivo de promover o avanço na educação no campo da computação. (RASPBERRYPI, 2018)

O *RaspberryPI* é um pequeno computador que traz consigo um processador na arquitetura ARM, a mesma tecnologia que se encontra em num smartphone (RASPBERRYPI, 2018).

Figura 7 – Raspberry Pi 3



Fonte: RaspberryPi (2018)

### 5.1.2 OrangePI

O *OrangePI* é um SBC *open source* da Shenzhen Xunlong Software. A arquitetura de seu processador é ARM e a plataforma suporta vários sistemas operacionais como Android e as várias distribuições de linux (ORANGE, 2023).

Figura 8 – Orange Pi 3 LTS



Fonte: Orange (2023)

### 5.1.3 BeagleBone Black

*BeagleBone Black* é uma plataforma suportada pela comunidade que roda Linux para prototipagem rápida (BEAGLEBOARD, 2023). Esta plataforma é utilizada pelo projeto OpenVLC.

Figura 9 – BeagleBone Black



Fonte: Beagleboard (2023)

## 5.2 Linux

Linux é um sistema operacional de computadores, o autor Negus (2014) cita em seu livro Linux a Bíblia que este sistema é um exemplo de como projetos colaborativos podem ultrapassar o que empresas individuais podem fazer.

O Linux permite que os desenvolvedores alterem o sistema como quiserem ajudando a criar softwares para as suas necessidades, por esse motivo utilizaremos este sistema no desenvolvimento do trabalho.

## 6 Resultados esperados

É esperado deste trabalho que contribua no entendimento dos processos para a realização dos objetivos declarados no capítulo 2, além de auxiliar a compreender mais sobre a tecnologia VLC e o que ela pode trazer de benefícios para a sociedade.

Que as informações deste trabalho possam ser úteis e que ao mesmo tempo incentive outros pesquisadores a desenvolverem projetos sobre o tema, já que foi utilizado uma SBC mais acessível para o cenário brasileiro.

# 7 Desenvolvimento

Este capítulo detalha os processos que ocoreram para o desenvolvimento da pesquisa, mostrando os passos seguidos para alcançar os objetivos propostos. Além disso, são abordadas as dificuldades enfrentadas e as adaptações e refinamentos realizados ao longo do percurso.

## 7.1 Circuito

### 7.1.1 Emissor

O circuito que permite “transformar” os bits em luz é composto por um led de alto brilho, um transistor TIP 122, dois resistores e uma bateria.

O transistor é ligado como chave na SBC para permitir acionar cargas elétricas da qual a SBC não seria capaz, como o led de alto brilho consome uma corrente maior poderia queimar a SBC.

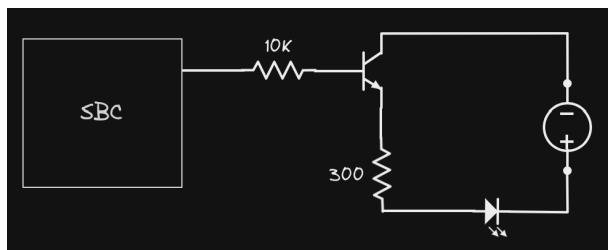


Figura 10 – Esquema do circuito emissor



Figura 11 – Esquema do circuito emissor

### 7.1.2 Receptor

O circuito para receber as informações do emissor é composto por um LDR (Light Dependent Resistor) e um potenciometro ligados em serie. Este circuito permite ler os *bytes* independentemente da intencidade da iluminação externa, ajustando a posição do potenciometro.

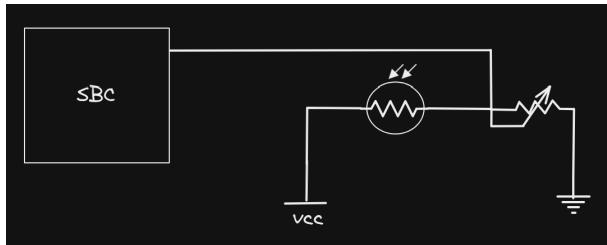


Figura 12 – Esquema do circuito receptor

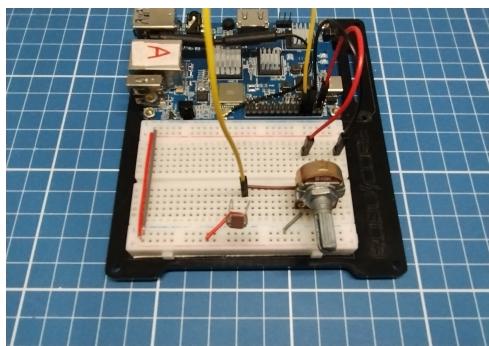


Figura 13 – Esquema do circuito receptor

# Referências

- ABRAHAM, C. **A beginner's guide to (CIE) colorimetry.** Medium, 2016. Disponível em: <<https://medium.com/hipster-color-science/a-beginners-guide-to-colorimetry-401f1830b65a>>.
- BARROS, J. J. R. **Efeitos da interferência gerada por fornos de micro-ondas nas redes sem fio IEEE 802.11b/g/n.** Dissertação (Mestrado) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, Oct 2014.
- BEAGLEBOARD. **What is BeagleBone Black?** 2023. Disponível em: <<https://beagleboard.org/black>>. Acesso em: 18 mai. 2023.
- CABRAL, S. C. B. **Interferência eletromagnética em equipamento eletromédico ocasionada por telefonia móvel celular.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Jun 2001.
- CONCEIÇÃO, M. L. **Comunicação por Luz Visível.** Monografia (TCC) — Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- DRUMOND, C. **Scrum Um guia para o Scrum: o que é, como funciona e como começar.** 2022. Disponível em: <<https://www.atlassian.com/br/agile/scrum>>. Acesso em: 10 mai. 2023.
- GENACHOWSKI. **Revision of Part 15 of the Commission's Rules to Permit Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII) Devices in the 5 GHz Band.** FCC - Federal Communications Commission, 2013. Disponível em: <<https://www.fcc.gov/document/5-ghz-unlicensed-spectrum-unii>>. Acesso em: 17 abr. 2023.
- HALLIDAY, D. et al. **Fundamentos de física: Gravitação, ondas e termodinâmica.** 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. ISBN 9788521632061.
- HALLIDAY, D. et al. **Fundamentos de física: Óptica e física moderna.** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. ISBN 9788521632108.
- KEMP, S. **Digital 2023: Global Overview Report - DataReportal – Global Digital Insights.** DataReportal – Global Digital Insights, 2023. Disponível em: <<https://datareportal.com/reports/digital-2023-global-overview-report>>. Acesso em: 15 mar. 2023.
- MATHEUS, L. et al. Comunicação por luz visível: conceito, aplicações e desafios. In: **Livro de Minicursos SBRC.** Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Computação, 2017. cap. 6, p. 247–296.
- MONTEIRO, E.; HRANILOVIC, S. Design and implementation of color-shift keying for visible light communications. **Journal of Lightwave Technology**, v. 32, n. 10, p. 2053–2060, 2014.
- NEGUS, C. **Linux a Bíblia. O Mais Abrangente e Definitivo Guia Sobre Linux.** [S.I.]: Alta Books, 2014. ISBN 978-8576087991.

- NETO, J. V. C. et al. Single-board computers na educação: Uma revisão sistemática da literatura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, Jun 2021.
- ORANGE, P. **Orange Pi**. 2023. Disponível em: <[http://www.orangepi.org/orangepiwiki/index.php/Main\\_Page](http://www.orangepi.org/orangepiwiki/index.php/Main_Page)>.
- RADIGAN, D. **Kanban: Como a metodologia Kanban é aplicada ao desenvolvimento de software**. 2022. Disponível em: <<https://www.atlassian.com/br/agile/kanban>>. Acesso em: 11 mai. 2023.
- RASPBERRYPI, F. **Strategy 2018–2020**. Raspberry Pi Foundation, 2018. Disponível em: <<https://static.raspberrypi.org/files/about/RaspberryPiFoundationStrategy2018%E2%80%932020.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2023.
- TANENBAUM, S. **Redes de computadores**. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2011. ISBN 9788576059240.
- WANG, Q. et al. Low-cost, flexible and open platform for visible light communication networks. **ACM HotWireless 2015**, 2015. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/2799650.2799655>>.
- WILTGEN, F. Protótipos e prototipagem rápida aditiva sua importância no auxílio do desenvolvimento científico e tecnológico. In: **Anais do 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF), São Carlos-SP**. [S.l.: s.n.], 2019.
- ZENG, X. **Porque é que os preços do Raspberry Pi São Tão Altos? Irá Melhorar?** 2022. Disponível em: <<https://picockpit.com/raspberry-pi/pt/porque-are-raspberry-pi-prices-so-high-will-it-improve/>>.