

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
DELT - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

WENDEURICK EMERICK SILVERIO

**DESENVOLVIMENTO DE MESA DE LUZ INTERATIVA PARA  
EXPERIMENTO DE CIÊNCIAS PARA CRIANÇAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2018

WENDEURICK EMERICK SILVERIO

**DESENVOLVIMENTO DE MESA DE LUZ INTERATIVA PARA  
EXPERIMENTO DE CIÊNCIAS PARA CRIANÇAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Dr. James Alexandre Baraniuk

CURITIBA  
2018

À memória de Thiago Borges Fonseca.

## **AGRADECIMENTOS**

Edite e coloque aqui os agradecimentos às pessoas e/ou instituições que contribuíram para a realização do trabalho.

É obrigatório o agradecimento às instituições de fomento à pesquisa que financiaram total ou parcialmente o trabalho, inclusive no que diz respeito à concessão de bolsas.

*Gosto que tudo seja real e que tudo esteja certo;*

*E gosto porque assim seria, mesmo que eu não gostasse.*

*Por isso, se morrer agora, morro contente,*

*Porque tudo é real e tudo está certo.*

*(CAEIRO, Alberto (Fernando Pessoa), 1915).*

## RESUMO

SILVERIO, Wendeurick. Desenvolvimento de Mesa de Luz Interativa para Experimento de Ciências para Crianças. 2018. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

O presente trabalho refere-se ao desenvolvimento do protótipo de uma matriz de LED que será parte da exposição interativa “Luz, Ciência e Emoção”, idealizada pela arquiteta Dra. Maristela Mitsuko Ono e pelo engenheiro Dr. James Alexandre Baraniuk. A matriz, chamada de “Mesa de Bolinhas”, se enquadra no setor artístico da exposição, que traz experimentos envolvendo os conceitos de luz trabalhados nos ensinios pré-escolar e fundamental, e proporcionará uma experiência tangível-visual impactante aos observadores, causando deslumbramento e entusiasmos através da interação com arte e tecnologia. Entre os desafios do projeto, **TODO: falar sobre técnicas de contorno (debounce), endereçamento dos quase 400 canais de PWM, FSM**

**Palavras-chave:** Matriz de LED. Matriz de sensores. Arte generativa.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Parte da exposição “Luz, Ciência e Emoção”, no MuMa . . . . .	1
Figura 2 – Vista superior da mesade Bolinhas . . . . .	2
Figura 3 – Disposição dos objetos na Mesa de Bolinhas . . . . .	4
Figura 4 – Sensor TCRT5000 . . . . .	6
Figura 5 – Aplicação do sensor TCRT5000 . . . . .	7
Figura 6 – Diagrama funcional do 74HC165 . . . . .	7
Figura 7 – Diagrama temporal do 74HC165 . . . . .	8
Figura 8 – Vista aproximada do LED WS2812 e seu controlador interno . . . . .	9
Figura 9 – Fita de LED endereçável utilizando o WS2812 . . . . .	9
Figura 10 – Representação de uma chave inversora com TJB . . . . .	10
Figura 11 – Forma de onda da chave inversora com TJB . . . . .	10
Figura 12 – Chave inversora com o diodo de “Baker <i>clamping</i> ” . . . . .	11
Figura 13 – Diagrama funcional do ESP8266 . . . . .	12
Figura 14 – Módulo ESP-12 . . . . .	12
Figura 15 – Oscilação do sinal de uma chave ao ser pressionada . . . . .	14
Figura 16 – Exemplo de circuito de <i>debounce</i> com <i>latches</i> . . . . .	15
Figura 17 – Diagrama geral do projeto eletrônico . . . . .	16
Figura 18 – As 3 subseções principais do projeto eletrônico . . . . .	17
Figura 19 – Disposição das placas da Matriz . . . . .	18
Figura 20 – Protótipo das placas da matriz . . . . .	18
Figura 21 – Faces da PCI do módulo de 2 bolinhas . . . . .	19
Figura 22 – Faces da PCI do módulo de 3 bolinhas . . . . .	19
Figura 23 – Exemplo de Figura . . . . .	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características do sensor TCRT5000 . . . . .	6
Tabela 2 – Especificação do ESP8266 . . . . .	11
Tabela 3 – Pinagem do módulo ESP-12 . . . . .	13
Tabela 4 – Resultado dos testes . . . . .	25



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	do inglês <i>Analog to Digital Converter</i>
API	do inglês <i>Application Programming Interface</i>
CPU	do inglês <i>Central Processing Unit</i>
FIFO	do inglês <i>First In, First Out</i>
FSM	do inglês <i>Finite-state Machine</i>
GPIO	do inglês <i>General Purpose Input/Output</i>
LDR	do inglês <i>Light Dependent Resistor</i>
LED	do inglês <i>Light Emitting Diode</i>
MuMa	Museu de Arte Municipal
NRZ	do inglês <i>Non-return-to-zero</i>
OTA	do inglês <i>Over-the-air</i>
PCI	Placa de Circuito Impresso
PIBIC	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica
PWM	do inglês <i>Pulse Width Modulation</i>
RAM	do inglês <i>Random Access Memory</i>
RGB	Sistema de cores aditivas, do inglês <i>Red, Green e Blue</i>
SPIFFS	do inglês <i>SPI Flash File System</i>
TCP	do inglês <i>Transmission Control Protocol</i>
TJB	Transistor de Junção Bipolar
UART	do inglês <i>Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i>
UDP	do inglês <i>User Datagram Protocol</i>
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Omega$	Unidade de medida da resistência elétrica
$\lambda$	Comprimento de onda

## LISTA DE ALGORITMOS

Algoritmo 1 – Exemplo de Algoritmo . . . . .	27
--	----

## SUMÁRIO

<b>1 – INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 OBJETIVO GERAL	3
1.2.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
<b>2 – REVISÃO TEÓRICA</b>	<b>4</b>
2.1 PROJETO ARQUITETÔNICO	4
2.2 SENSOR	5
2.3 REGISTRADORES DE DESLOCAMENTO	7
2.4 LED	8
2.5 BAKER CLAMP	9
2.6 MICROCONTROLADOR	11
2.7 <i>FRAMEWORK</i>	13
2.8 FIFO	13
2.9 DEBOUNCE	14
<b>3 – DESENVOLVIMENTO</b>	<b>16</b>
3.1 CONCEPÇÃO DO PROJETO	16
3.2 PROJETO DA MATRIZ	17
3.3 PROJETO DA INTERFACE	19
3.3.1 PROJETO DA PCI DA INTERFACE	20
3.4 PROJETO DO CONTROLADOR	20
3.4.1 ALIMENTAÇÃO	20
3.4.2 SELETOR DE CORES	20
3.4.3 TECLADO ADC	20
3.4.4 GRAVADOR	20
3.4.5 PROJETO DA PCI DO CONTROLADOR	21
3.5 PROJETO DO <i>FIRMWARE</i>	21
3.5.1 <i>DEBOUNCE</i>	21
3.5.2 MÁQUINA DE ESTADOS FINITA	21
<b>4 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>22</b>
<b>5 – SOBRE AS ILUSTRAÇÕES</b>	<b>23</b>
<b>6 – FIGURAS</b>	<b>24</b>

<b>7 – QUADROS E TABELAS</b>	<b>25</b>
<b>8 – EQUAÇÕES</b>	<b>26</b>
<b>9 – ALGORITMOS</b>	<b>27</b>
<b>10 – SOBRE AS LISTAS</b>	<b>28</b>
<b>11 – SOBRE AS CITAÇÕES E CHAMADAS DE REFERÊNCIAS</b>	<b>29</b>
<b>12 – CITAÇÕES INDIRETAS</b>	<b>30</b>
<b>13 – CITAÇÕES DIRETAS</b>	<b>31</b>
<b>14 – DETALHES SOBRE AS CHAMADAS DE REFERÊNCIAS</b>	<b>32</b>
<b>15 – SOBRE AS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>33</b>
<b>16 – NOTAS DE RODAPÉ</b>	<b>34</b>
<b>17 – CONCLUSÃO</b>	<b>35</b>
17.1 TRABALHOS FUTUROS	35
17.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
<b>Referências</b>	<b>36</b>
<b>Apêndices</b>	<b>38</b>
<b>APÊNDICE A – Nome do apêndice</b>	<b>39</b>
<b>APÊNDICE B – Nome do outro apêndice</b>	<b>40</b>
<b>Anexos</b>	<b>41</b>
<b>ANEXO A – Nome do anexo</b>	<b>42</b>
<b>ANEXO B – Nome do outro anexo</b>	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A luz exerce um papel essencial no nosso cotidiano e está presente das mais diversas formas: iluminação, medicina, pesquisas científicas, geração de energia, telecomunicações, educação, arte, cultura e etc. A Assembleia Geral das Nações Unidas proclamou o ano de 2015 como o Ano Internacional da Luz e das Tecnologias Baseadas na Luz ([United Nations, 2014](#)), a fim de reconhecer tal importância para a vida dos cidadãos e para o desenvolvimento futuro da sociedade mundial. No ano da celebração, a UNESCO promoveu uma série de eventos por vários países [UNESCO \(2015\)](#), com o intuito de destacar que o aumento da consciência mundial e o fortalecimento do ensino da ciência e das tecnologias da luz são essenciais para abordar os desafios futuros e atuais, tais como o desenvolvimento sustentável, a energia e as comunicações, assim como para melhorar a qualidade de vida dos países menos desenvolvidos e os em desenvolvimento.

Baseada em tal iniciativa, a exposição Luz, Ciência e Emoção, idealizada pela arquiteta Dra. Maristela Mitsuko Ono e pelo engenheiro Dr. James Alexandre Baraniuk, traz experimentos envolvendo os conceitos de luz trabalhados nos ensinamentos pré-escolar e fundamental, cada um com seu grau de impressão aos sentidos. A ([Figura 1](#)) apresenta uma parte da mostra que ocorreu entre março e junho de 2017, no Museu de Arte Municipal, em Curitiba.

Figura 1 – Parte da exposição “Luz, Ciência e Emoção”, no MuMa

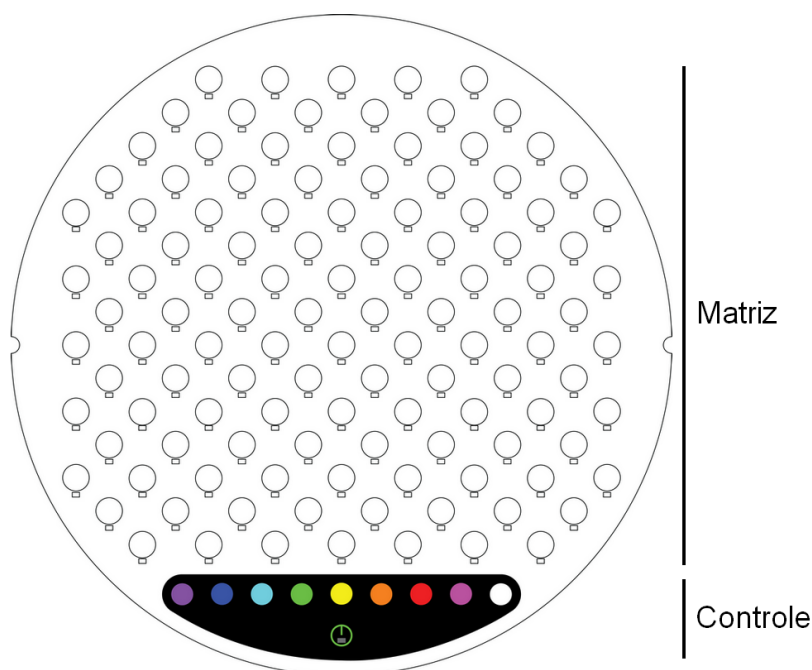


Fonte: (UFPR, 2017)

Dentre outros projetos que participou durante o Programa de Iniciação Científica <sup>1</sup>, o autor trabalhou na seção Matriz da Mesa de Bolinhas (Figura 2), projeto este que ocupará uma posição de destaque dentro da área artística da mostra. Trata-se de uma matriz de LEDs interativa, composta por mais de 100 bolinhas de *ping-pong*, cada uma sobre um correspondente par LED-sensor reflexivo. Ela permite que o espectador “pinte com luz” ao passar a mão sobre a mesa, proporcionando uma experiência tangível-visual impactante, causando deslumbramento e entusiasmo através da arte e interação.

O trabalho aqui proposto trata do desenvolvimento do *hardware* e *firmware* embarcado da seção Controle da mesa. Tal setor é responsável pela identificação e tratamento dos sinais de entrada e pelo acionamento da matriz de saída.

Figura 2 – Vista superior da mesade Bolinhas



Fonte: (MITSUKO, 2016)

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Sendo parte da exposição Luz, Ciência e Emoção, espera-se que o projeto fomente o envolvimento com a arte generativa e com as tecnologias envolvendo luz. Além de poder ser prestigiado durante a mostra, trata-se também de um projeto de código e *hardware* abertos, que serão disponibilizados à comunidade para que possam ser estudados e adaptados às suas necessidades.

Ademais, temas pouco explorados durante a graduação serão implementados, tais como técnica de contorno (*debounce*, identificação de comandos reais sob contextos com

<sup>1</sup>Projeto de Pesquisa: Luz, Ciência e Emoção: Exposição Interativa para Crianças (PIBIC Voluntária: 2016019080)

ruído), padrão de *design* em *software* (FSM, máquina de estados finita) e geração de múltiplos canais de PWM.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Finalizar o *hardware* (seção Controle) e desenvolver o *firmware* embarcado da Mesa de Bolinhas, apresentando um protótipo funcional do projeto.

#### 1.2.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mapeamento da matriz de saída, onde cada *LED* possa ser controlado individualmente;
- Mapeamento da matriz de entrada, onde cada sensor possa ser lido individualmente;
- *Software* microcontrolado que gerencie a interface humano-máquina;
- Leitura e montagem das Placas de Circuito Impresso;
- Integração da eletrônica com a mecânica do projeto.



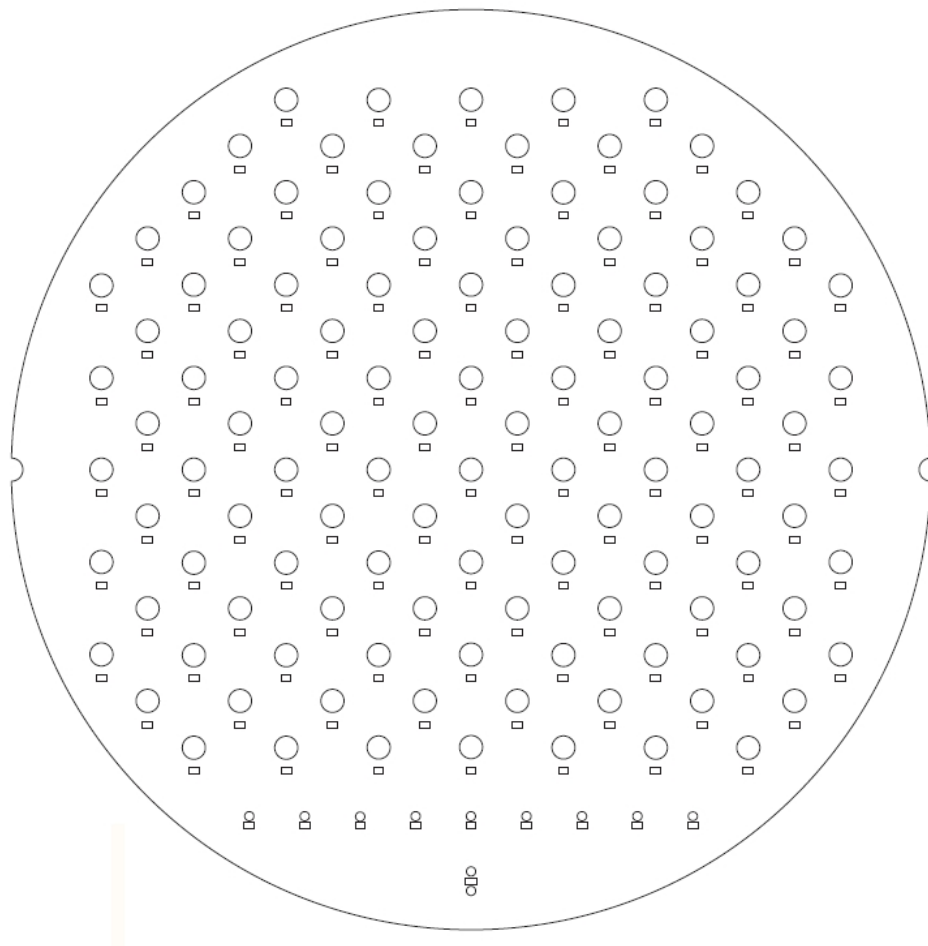
## 2 REVISÃO TEÓRICA

Este capítulo aborda alguns conceitos dos principais componentes e ferramentas utilizadas, bem como a especificação do projeto.

### 2.1 PROJETO ARQUITETÔNICO

O projeto arquitetônico definiu a quantidade e a disposição de cada objeto. Ao todo, são 128 sensores e 129 pontos de luz, dispostos sob um tampo acrílico de 1m de diâmetro, conforme apresentado na [Figura 3](#).

Figura 3 – Disposição dos objetos na Mesa de Bolinhas



Fonte: MITSUKO, 2016

A arquiteta também especifica que o funcionamento da mesa deve ser orientado a eventos, provenientes das seções Controle e Matriz ([Figura 2](#)):

- A mesa sai do modo ocioso ao manter-se a mão sobre a bolinha *Power* por mais de 1s: acende-se o seletor de cores e a mesa passa a interpretar os demais comandos;

- Escolhe-se uma cor ao manter-se a mão sobre uma determinada bolinha do seletor de cores por mais de 1s;
- Ao passar a mão sobre uma determinada bolinha da seção Matriz, a mesma deve responder com a última cor escolhida;
- Uma bolinha da seção Matriz pode ser apagada se a “cor” escolhida tiver sido a da bolinha *Power*;
- Ao manter-se a mão por mais de 3s sobre a bolinha *Power*, todas as bolinhas da seção Matriz devem ser apagadas; e
- Ao manter-se a mão por mais de 5s sobre a bolinha *Power*, a mesa entra em modo ocioso: as bolinhas do seletor de cores são apagadas e a mesa passa a ignorar os comandos sobre a Matriz.

A partir da especificação acerca do funcionamento, notam-se alguns desafios do ponto de vista do eletrônico/lógico, tais como:

- A disposição dos objetos e o tamanho da mesa;
- A capacidade de comandar individualmente 129 *LEDs* coloridos (*RGB*), ou seja  $129 \times 3 = 387$  canais de cor;
- A capacidade de interpretar os níveis lógicos dos 128 sensores;
- A capacidade de responder, simultaneamente, aos comandos temporais provenientes de cada sensor.

A seleção dos componentes e das ferramentas foi baseada na especificação e nos desafios acima citados, e será discutida a seguir nas demais seções deste capítulo.

## 2.2 SENSOR

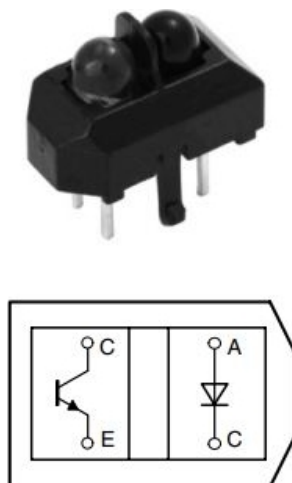
A função do sensor é identificar a posição de um objeto, no caso, a mão do espectador, sobre o tampo acrílico, e para manter-se centrado nos objetivos do projeto arquitetônico, a definição do tipo de sensor foi baseada em dois pontos essenciais:

- I. O elemento principal do projeto é a luz que flui da bolinha de *ping-pong*;
- II. A exposição pode ser levada a diversos lugares e ser instalada nos mais variados ambientes, como museus, escolas, saguões e etc.

A questão (I) implica que o sensor não deve irradiar ondas eletromagnéticas dentro do espectro visível, que vai de  $400nm$  a  $700nm$  (HALLIDAY; WALKER; RESNICK, 2007). Já a questão (II) implica que a instalação será submetida a locais com diferentes graus de iluminação, portanto os sensores devem ser imunes à variação luminosa do ambiente.

Assim sendo, optou-se pelo sensor óptico reflexivo *TCRT5000L*, apresentado na Figura 4, cujas características relevantes para o projeto são apresentadas na Tabela 1.

Figura 4 – Sensor TCRT5000



Fonte: [Vishay Semiconductors \(2008\)](#)

Tabela 1 – Principais características do sensor TCRT5000.

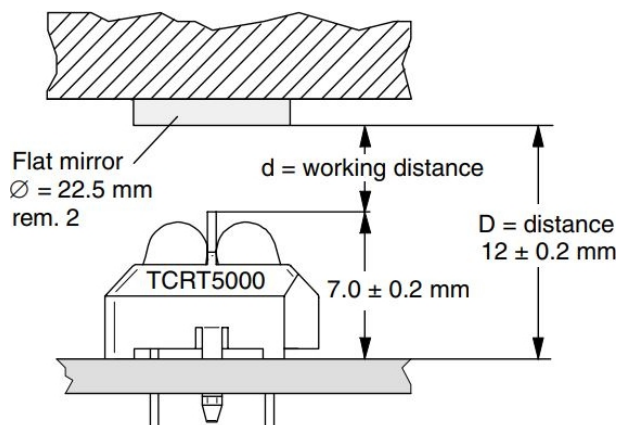
Parâmetro	Condição	Símb.	Mín.	Típ.	Máx.	Unidade
LED - Corrente direta		$I_F$		60		mA
LED - Queda direta de tensão	$I_F = 60mA$	$V_F$		1,25	1,5	V
LED - Comprimento de onda	$I_F = 100mA$	$\lambda_P$	940			nm
Sensor - Corrente de coletor	@5V, $I_F = 10mA$ , $D = 12mm$	$I_C$	0,5	1	2,1	mA
Sensor - Queda de tensão entre coletor-emissor na saturação	$I_F = 10mA$ , $I_C = 0,1mA$ , $D = 12mm$	$V_{CEsat}$			0,4	V

Fonte: [Vishay Semiconductors \(2008\)](#)

Trata-se de um sensor reflexivo infravermelho ( $\lambda_P$ ), ou seja, opera fora do espectro visível, o que contorna a implicação da questão (I) apresentada anteriormente. Além disso, diferentemente de um sensor passivo, por exemplo um LDR, o TCRT5000 opera irradiando luz e, ademais, também contém filtro óptico embutido, absorvendo somente comprimentos de onda próximas a ( $\lambda_P$ ). Essa duas características contornam a implicação da questão (II).

A saída transistorizada permite que o sensor seja interpretado de forma lógica. Sua aplicação ([Figura 5](#)) vai desde sensoriamento de *encoders* e posições de “fim de curso” até detecção de papéis, cartões, fitas e etc. Foi escolhida a variante “L” (*TCRT5000L*) por ser a versão com terminais estendidos.

Figura 5 – Aplicação do sensor TCRT5000



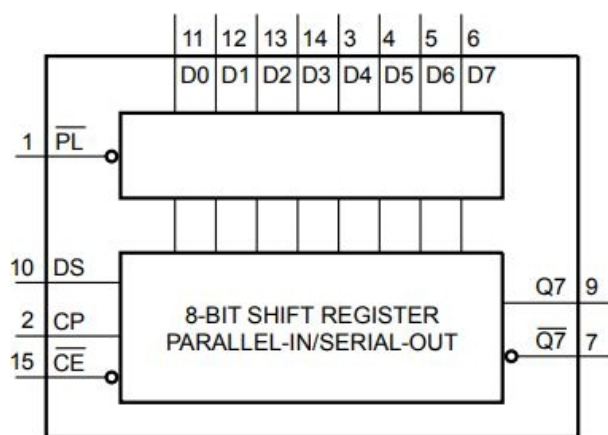
Fonte: [Vishay Semiconductors \(2008\)](#)

### 2.3 REGISTRADORES DE DESLOCAMENTO

A necessidade de interpretar individualmente os 128 sensores implica na mesma quantidade de entradas do circuito de processamento. Então, optou-se por lidar com entradas virtuais, através de um barramento serial, por meio de registradores de deslocamento. Dessa forma, com poucas GPIOs, o microcontrolador pode interpretar os níveis lógicos de todos os sensores conectados ao barramento.

Devido sua grande difusão no mercado, o registrador de deslocamento escolhido foi o 74HC165. A [Figura 6](#) apresenta o diagrama funcional do circuito integrado.

Figura 6 – Diagrama funcional do 74HC165

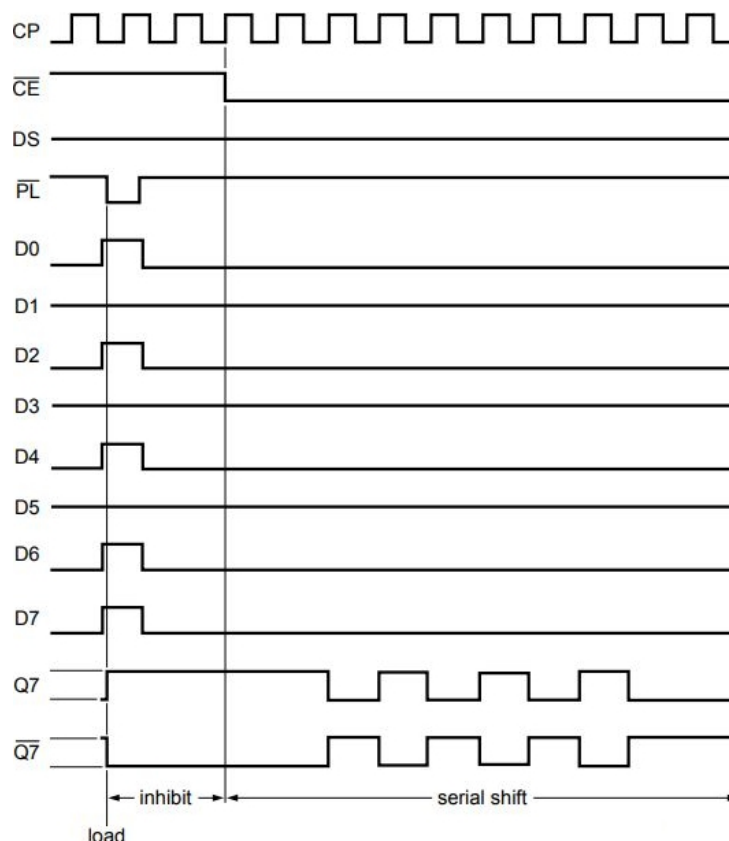


Fonte: [NXP Semiconductors \(2017\)](#)

Trata-se de um registrador de deslocamento com 8 entradas em paralelo ( $D_N$ ) e saídas complementares ( $Q_7$  e  $\overline{Q_7}$ ) em serial. Basicamente, seu funcionamento ([Figura 7](#)) constitui-se na captura instantânea do nível lógico de suas entradas (borda de descida da Entrada Assíncrona

de Carga Paralela,  $\overline{P_L}$ ) e na transmissão desses valores através de deslocamento ordenado ( $D_7 \rightarrow D_0$ ) na saída serial ( $Q_7$ ), nos eventos de borda de subida na entrada de *clock* ( $C_P$ ).

Figura 7 – Diagrama temporal do 74HC165



Fonte: [NXP Semiconductors \(2017\)](#)

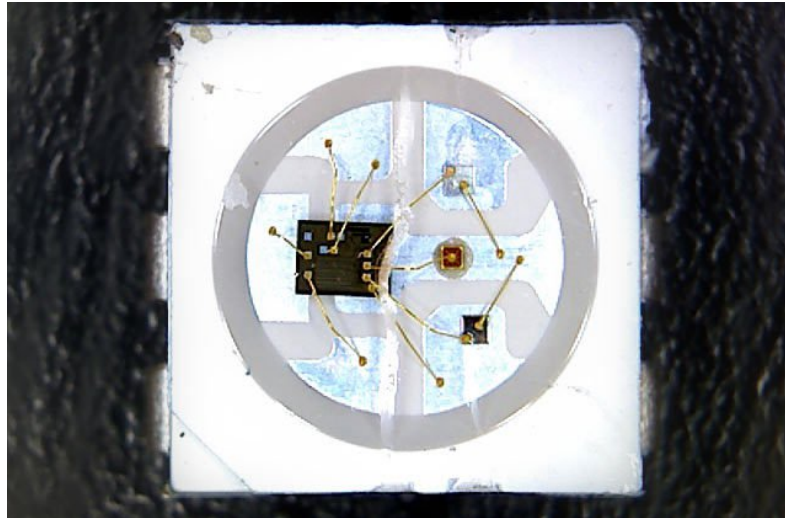
## 2.4 LED

Para formar a matriz de saída, optou-se pelo LED WS2812S ([Figura 8](#)), um dispositivo em encapsulamento SMD5050 com controlador interno, o WS2811: um *driver* especial para LEDs, com 3 saídas de 8 *bits* de resolução, ou seja, pode-se gerar até 16777216 cores do padrão RGB. Esse controlador é muito utilizado em fitas de LEDs endereçáveis ([Figura 9](#)), pois permite a conexão de vários controladores em um mesmo barramento serial (protocolo NRZ), podendo-se controlar cada LED individualmente.

O fato de possuir um controlador embutido no próprio encapsulamento implica diretamente sobre o valor do LED, custando um pouco mais que o dobro do valor médio de outros LEDs RGBs mais simples. Apesar disso, o custo acaba sendo compensado pelos benefícios que o *driver* proporciona.

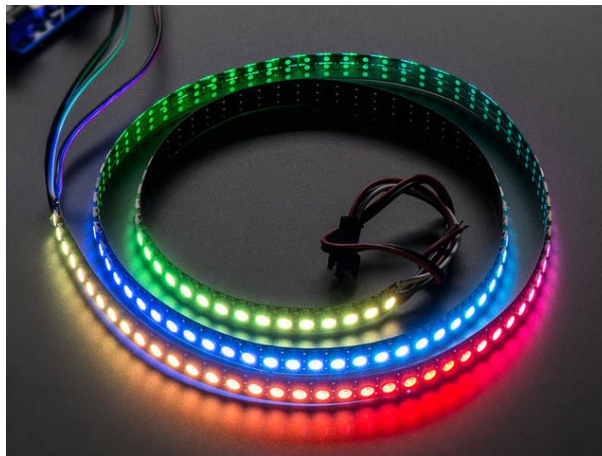
O modelo do LED já havia sido selecionada durante o Programa de Iniciação Científica que o autor participou, já sendo utilizado no circuito da matriz. No projeto aqui proposto, eles serão utilizados no seletor de cores, discutido no [Capítulo 3](#).

Figura 8 – Vista aproximada do LED WS2812 e seu controlador interno



Fonte: Burgess (2017)

Figura 9 – Fita de LED endereçável utilizando o WS2812



Fonte: Burgess (2017)

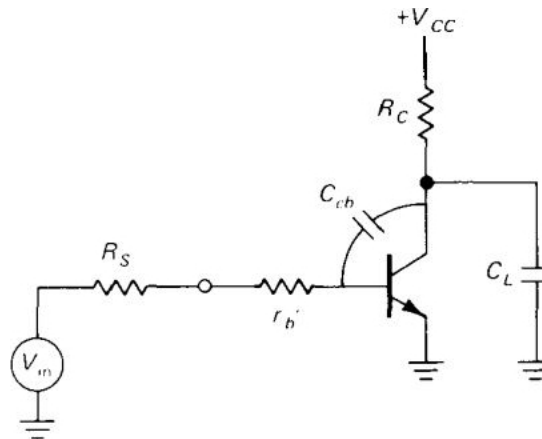
TODO: consumo

## 2.5 BAKER CLAMP

Segundo Horowitz e Hill (1989), os mesmos efeitos que limitam o desempenho de amplificadores lineares em altas frequências (a combinação de capacitância de junção, capacitância de retorno e capacitância parasita) também impõem limitações de velocidade em circuitos digitais de alta frequência. A Figura 10 apresenta um amplificador “emissor comum”, que pode atuar como uma chave inversora quando operado em corte e saturação, alimentado por uma fonte de pulsos com tempos de subida e descida extremamente curtos, e a Figura 11 apresenta uma curva típica sobre a carga ( $R_C$ ) desse tipo de amplificador ao considerar as

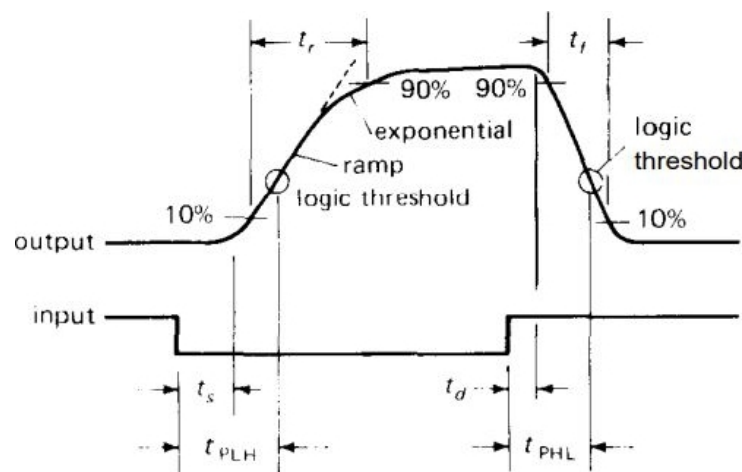
componentes parasitas.

Figura 10 – Representação de uma chave inversora com TJB



Fonte: (HOROWITZ; HILL, 1989)

Figura 11 – Forma de onda da chave inversora com TJB



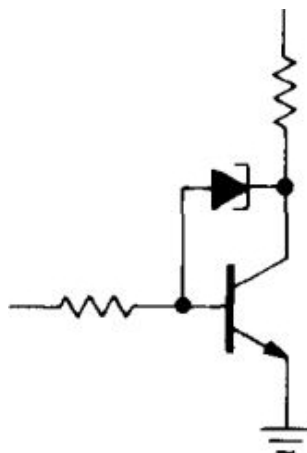
Fonte: (HOROWITZ; HILL, 1989)

Nota-se que, assim que a fonte estabelece o pulso em nível baixo, o transistor leva um certo tempo ( $t_r$ ) para sair da saturação e alcançar o estado de corte. Esse comportamento deriva-se do acúmulo de carga ( $C_{cb}$ ) entre o coletor e a base. Dependendo das características físicas do transistor e da aplicação, esse tempo de subida pode vir a prejudicar o desempenho da finalidade do circuito, como é o caso do conversor de nível lógico elaborado para a Mesa de Bolinhas (discutido no [Capítulo 3](#)).

Para mitigar tal efeito, [Horowitz e Hill \(1989\)](#) propõem a inclusão de um diodo de *clamping* (também conhecido por “Baker clamp”), entre a base e o coletor do TJB ([Figura 12](#)). Esse diodo irá desviar a corrente de base quando o transistor estiver se aproximando da saturação e evitará sua saturação, uma vez que a queda direta de tensão do diodo, no caso um

diodo Schottky, é menor que a da junção coletor-base. Dessa forma, o TJB pode entrar em corte mais rapidamente, pois o mesmo não chega a entrar no ponto de saturação profunda.

Figura 12 – Chave inversora com o diodo de “Baker clamping”



Fonte: (HOROWITZ; HILL, 1989)

## 2.6 MICROCONTROLADOR

O ESP8266 é o microcontrolador de entrada para a família de 32 bits da fabricante chinesa Espressif Systems. Produzido em escala a partir de 2014, essa família ganhou espaço na área de Internet das Coisas por ser um microcontrolador de baixo custo, de baixo consumo e com suporte à rede 802.11 (*Wi-Fi*). A [Tabela 2](#) apresenta as principais especificações do microcontrolador e a [Figura 13](#) apresenta seu diagrama funcional. Cabe aqui ressaltar que toda a parte de radio-frequência é implementada por *hardware*, simplificando o desenvolvimento de aplicações com comunicação sem fio.

Tabela 2 – Especificação do ESP8266.

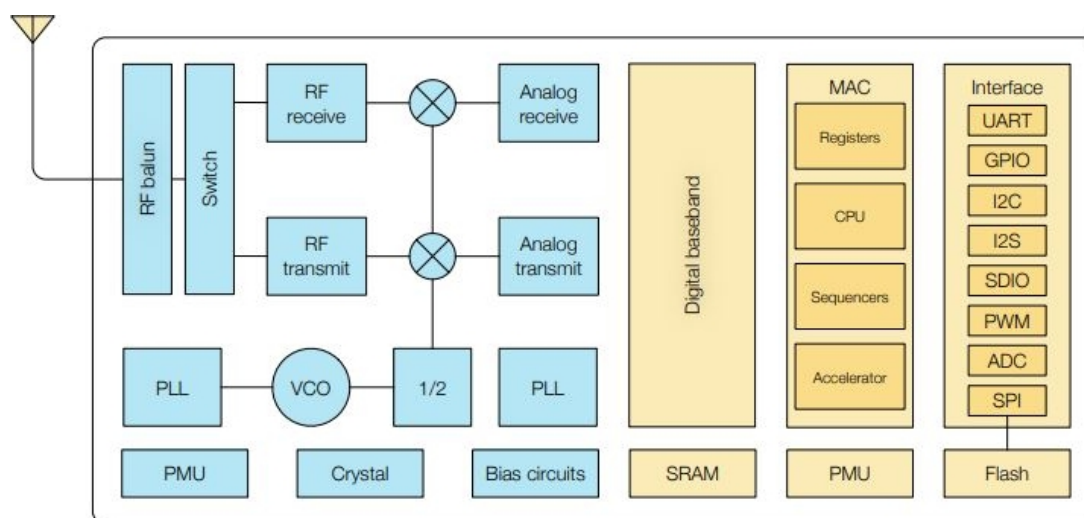
Alimentação	3,3V
Consumo	$10\mu A - 170mA$
Memória Flash (externa)	16MB máx. (512kB normal)
CPU	Tensilica L106 32 bits
Clock	80 – 160MHz
RAM	32kB – 80kB
GPIOs	17 (compartilhadas com outras funções)
ADC	1 canal (10 bits de resolução)
Wireless	Estação, ponto de acesso ou ambos

Fonte: (KOLBAN, 2016)

Embora a comunicação sem fio não fizesse parte das especificações do projeto arquitetônico original, a equipe concordou com a possibilidade de implementá-la em uma aplicação futura. Esse foi o ponto decisivo para a escolha do ESP8266. Assim, a Mesa de Bolinhas poderá



Figura 13 – Diagrama funcional do ESP8266

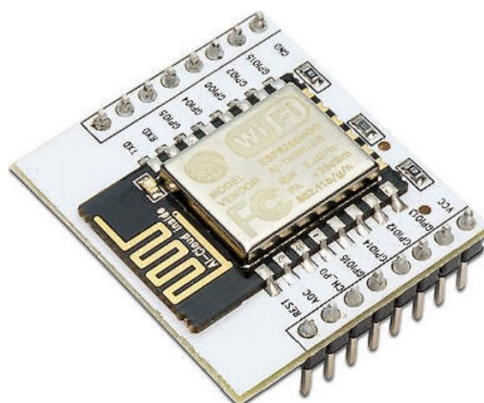


Fonte: [Espressif Systems \(2018\)](#)

ganhar novas funcionalidades sem haver a necessidade de alteração no *hardware*. Isso será discutido na [Seção 17.1](#).

Entre os diversos módulos que incluem o ESP8266, optou-se pelo ESP-12, por ser o que dispõe a maior quantidade de GPIOs (9 ao todo). A [Figura 14](#) apresenta sua placa. Convém salientar que este módulo já conta com memória *Flash* (4MB) e antena *microstrip*.

Figura 14 – Módulo ESP-12



Fonte: [\(KOLBAN, 2016\)](#)

Por serem compartilhados entre aplicações do usuário e funcionalidades internas, alguns pinos possuem certas particularidades. Os resistores *pull-up/pull-down* ([Figura 14](#)) garantem o nível lógico de alguns pinos, porém outros necessitam de uma atenção especial, sobretudo os que definem o modo de funcionamento: operação normal ou modo de gravação, que será discutido no [Capítulo 3](#). A [Tabela 3](#) apresenta a pinagem do módulo ESP-12 e também a função interna cada pino.

Tabela 3 – Pinagem do módulo ESP-12.

Pino	Descrição
$V_{CC}$	Alimentação 3,3V
GPIO 13	Também usada pela SPI
GPIO 12	Também usada pela SPI
GPIO 14	Também usada pela SPI
GPIO 16	Deve ser conectada ao RESET no modo <i>Deep Sleep</i>
$CH_{PD}$	<i>Chip enable</i> : (0) desabilitado; (1) habilitado
ADC	Entrada do ADC
RESET	<i>Reset</i> externo: (0) - <i>reset</i> ; (1) - normal
TXD	Transmissão da UART
RXD	Recepção da UART
GPIO 4	GPIO regular
GPIO 5	GPIO regular
GPIO 0	Modo <i>flah</i> se em nível baixo durante a inicialização
GPIO 2	Deve estar em nível alto durante a inicialização
GPIO 15	Deve estar em nível baixo durante a inicialização e gravação
GND	Terra

Fonte: (KOLBAN, 2016)

## 2.7 FRAMEWORK

Sming é um *framework* de código aberto, nativo para a família de microcontroladores ESP8266, desenvolvido na linguagem C++ e com foco em alta eficiência em desempenho e em uso de memória.

Diferente de outros *frameworks* baseados em laço-infinito, a estrutura do Sming é baseada em eventos temporais: as tarefas do usuário são escaladas em uma tabela de tempo. Isso o aproxima de uma das funcionalidades de um Sistema Operacional de Tempo Real, embora não haja, obviamente, um gerenciamento de recursos. Porém, o fato de poder-se escalar as tarefas em uma janela de tempo simplifica a implementação da especificação deste projeto, uma vez que, basicamente, sua funcionalidade também é baseada em eventos temporais, como apresentado no começo do capítulo (Seção 2.1).

Por tratar-se de uma plataforma de código aberto, este *framework* conta com uma vasta contribuição da comunidade, com uma API de *hardware* robusta e diversas bibliotecas nativas, tais como *bootloader*, sistema de arquivos (SPIFFS), atualização sem fio de *firmware* (OTA) e uma extensa pilha assíncrona de rede (TCP, UDP, *WebSockets* e etc). Esses recursos são úteis para a continuidade do projeto, discutida na Seção 17.1.

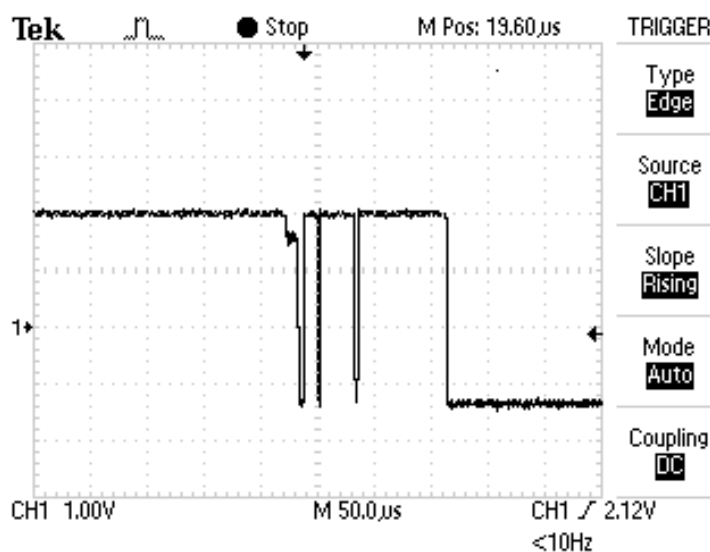
## 2.8 FIFO

TODO: revisão teórica FIFO

## 2.9 DEBOUNCE

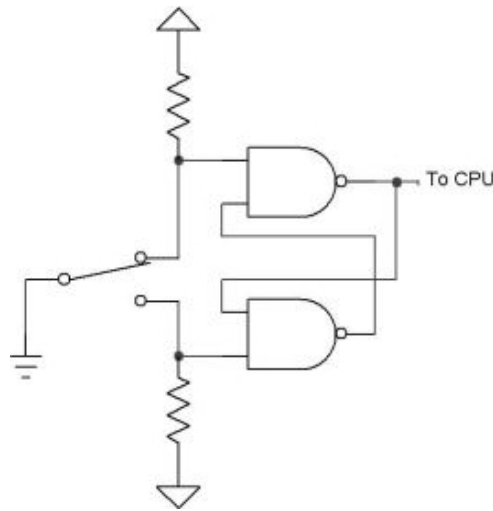
Embora o funcionamento do sensor ([Seção 2.2](#)) seja aparentemente simples - isto é, o transistor vai à saturação ao detectar um objeto; ou o transistor permanece em corte se não houver detecção - podem haver disparos falsos devido à oscilação do sinal durante a interação com a mesa. Essa oscilação é conhecida como *bouncing*: trepidação do nível lógico durante a mudança de estado. A [Figura 15](#) apresenta um exemplo dessa oscilação, quando uma chave física passou do nível lógico alto para o baixo, ao ser pressionada.

Figura 15 – Oscilação do sinal de uma chave ao ser pressionada



Fonte: [Greensted \(2010\)](#)

Ainda que a Mesa de Bolinhas não conte com botões físicos, o efeito *bouncing* pode vir a ocorrer em razão do limiar de detecção do sensor: o transistor de saída pode ficar operando, ainda que brevemente, no limite da interpretação do seu nível lógico. Para contornar tal situação, assim como nos casos de chaves físicas, será implementado um procedimento de *debouncing*. [Ganssle \(2007\)](#) cita diversas técnicas, desde descarte de tempo, filtros RC (resistor e capacitor), técnicas com *latches* ([Figura 16](#)), entre outros, inclusive táticas via *software*.

Figura 16 – Exemplo de circuito de *debounce* com *latches*Fonte: [Ganssle \(2007\)](#)

No caso da Mesa de Bolinhas, não conviria implementar os modelos de *debouncing* por *hardware*, pois implicaria diretamente no custo do projeto, não só pelo custo dos componentes, mas também pela área de placa ocupada, e também na complexidade do leiaute da PCI. Então, optou-se por implementar uma técnica de contorno via *firmware*. Com isso, não há necessidade de adicionar componentes auxiliares ao circuito dos sensores e registradores de deslocamento. Trata-se de uma técnica baseada em “histerese temporal”, onde a referência virtual altera-se de estado somente quando o nível de seu respectivo sensor já estiver estabilizado durante N milissegundos. A implementação dessa técnica será desenvolvida no [Capítulo 3](#).

### 3 DESENVOLVIMENTO

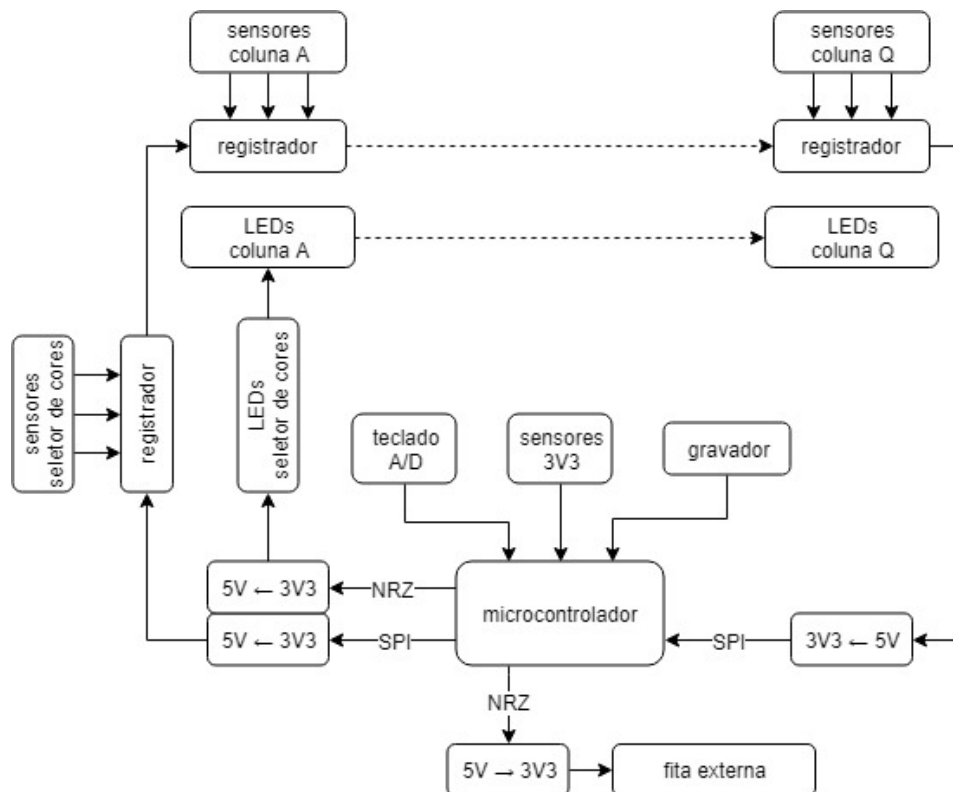
**TODO: intro**

Este capítulo aborda o desenvolvimento do projeto.

#### 3.1 CONCEPÇÃO DO PROJETO

Com base no projeto arquitetônico e a partir do levantamento das tecnologias disponíveis e viáveis (sobretudo pelo custo e pela difusão no mercado), foram definidos os componentes e técnicas a serem utilizadas no projeto eletrônico, cujo diagrama geral é apresentado na [Figura 17](#).

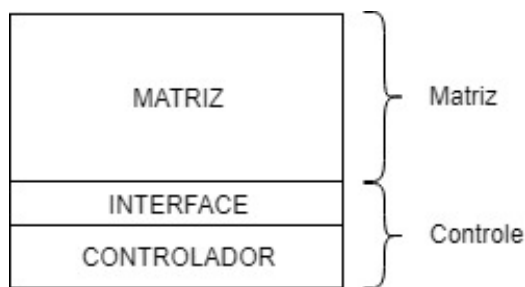
Figura 17 – Diagrama geral do projeto eletrônico



Fonte: (O AUTOR, 2018)

A partir do projeto arquitetônico ([Figura 2](#)), que é segmentado em duas partes: Matriz (interação) e Controle (seletor de cores), o projeto eletrônico também foi organizado em 3 subdivisões: Matriz, Interface e Controlador, apresentadas na [Figura 18](#). Dessa forma, pôde-se dar andamento ao projeto por meio de etapas, onde cada fase pode ser considerada um projeto íntegro por si só.

Figura 18 – As 3 subseções principais do projeto eletrônico



Fonte: (O AUTOR, 2018)

As subdivisões têm funções bem definidas, apresentadas logo abaixo, e serão discutidas neste mesmo capítulo nos tópicos a seguir.

- **Matriz:** é o setor que pode ser “pintado com luz”, que contém os LEDs e os sensores de interação. É inteiramente comandada pelo Controlador, através da Interface;
- **Interface:** interliga as subseções Matriz e Controlador. Captura e propaga o sinal dos sensores, através dos registradores de deslocamento, e forma a ligação sequencial do barramento dos LEDs;
- **Controlador:** processa todos os LEDs e sensores da mesa. Contém os LEDs e os sensores do seletor de cores, a parte de processamento, os conversores de nível lógico e os periféricos de gravação e depuração.

TODO: especificações, tensão

TODO: software

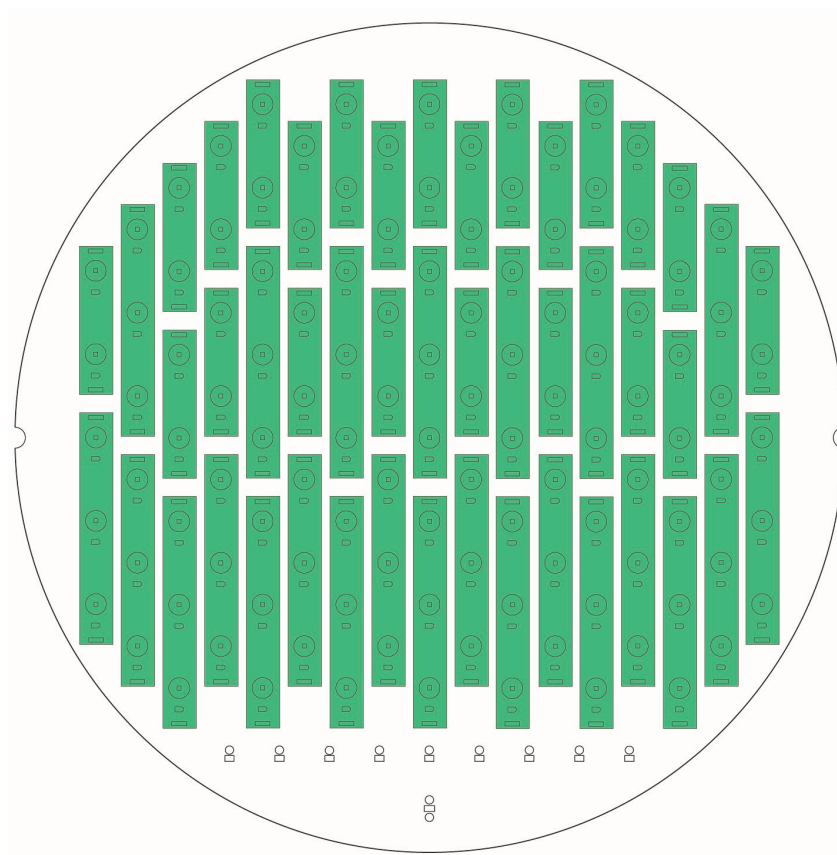
### 3.2 PROJETO DA MATRIZ

O projeto da Matriz foi concebido durante o Programa de Iniciação Científica do qual o autor participou. Nele, o desafio foi o de contemplar todas as 118 bolinhas de *ping-pong* desta seção (e seus respectivos pares sensor-LED), visando robustez e o menor custo.

Para tal, foi definido que a matriz seria arranjada em 17 colunas verticais, conforme apresentado na [Figura 19](#). Consequentemente, devido à disposição dos objetos (determinada pelo projeto arquitetônico), essas colunas poderiam conter 5, 6, 7 ou 8 bolinhas e, para abrangê-las da maneira mais proveitosa, as colunas foram combinadas por módulos (placas) de 2 ou 3 bolinhas.

Em geral, as empresas fabricantes de placas de circuito impresso consideram cada modelo de placa como um projeto, devido ao corte do painel, procedimento para os testes elétricos e etc. Assim, utilizando-se de apenas 2 modelos de placa, foi possível reduzir o custo do projeto sem dispensar a robustez que as PCs proporcionam.

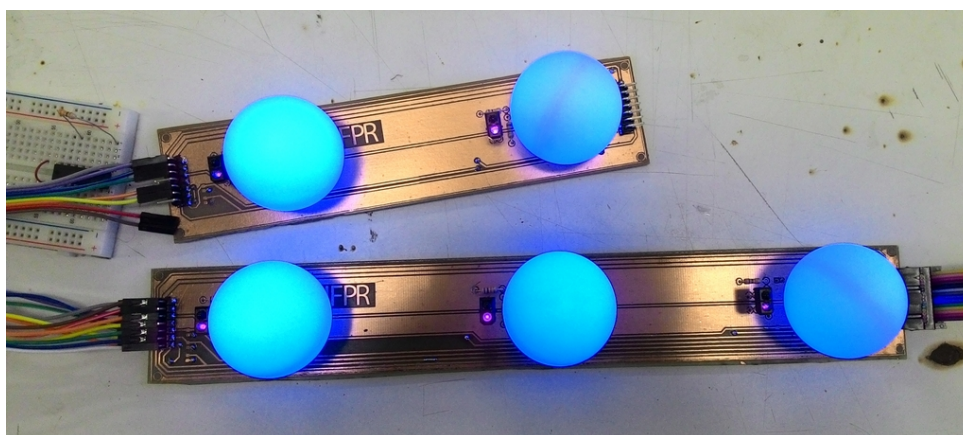
Figura 19 – Disposição das placas da Matriz



Fonte: (O AUTOR, 2017)

Uma vez definido que a matriz seria composta por placas com 2 ou 3 bolinhas, iniciaram-se os testes de conceito com o protótipo apresentado na [Figura 20](#). Nesses ensaios, foram testados os conceitos de endereçamento do LED WS2812, a leitura do nível lógico dos sensores através dos registradores de deslocamento e também o modo de conexão entre as placas.

Figura 20 – Protótipo das placas da matriz

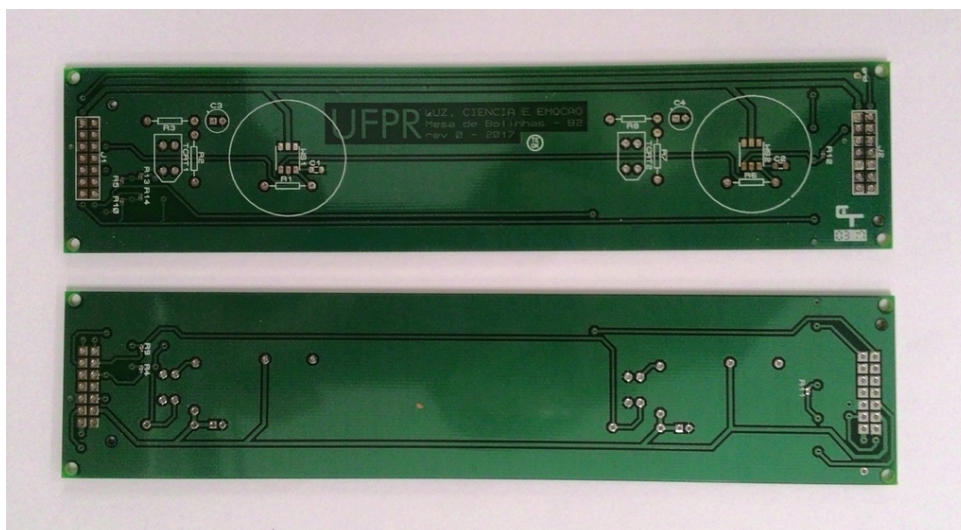


Fonte: (O AUTOR, 2017)



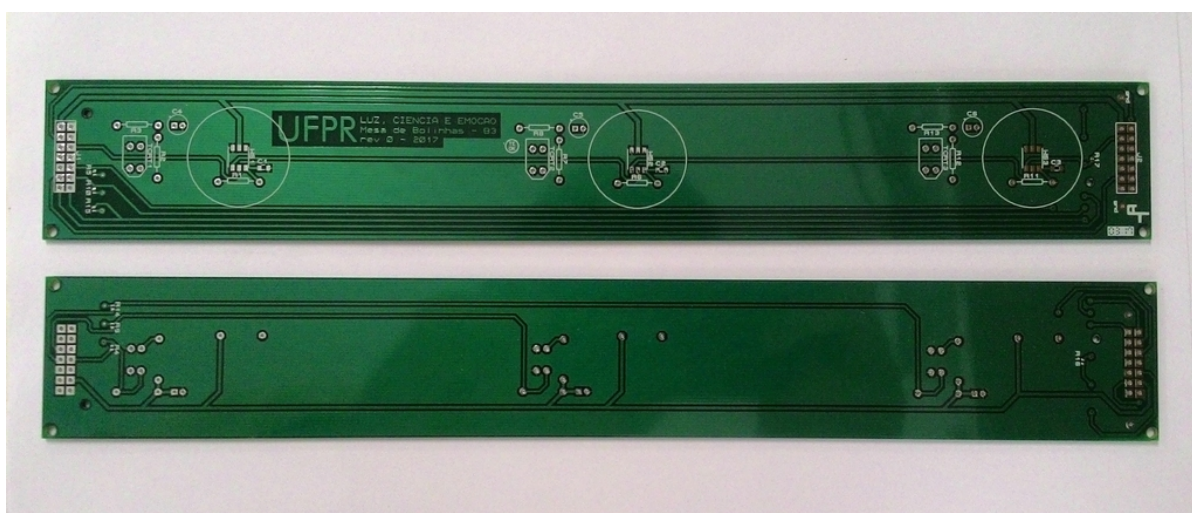
Todos os conceitos propostos foram validados e as 47 placas que compõem a matriz foram confeccionadas em produção industrial. A [Figura 21](#) e a [Figura 22](#) apresentam as faces superior e inferior dos módulos.

Figura 21 – Faces da PCI do módulo de 2 bolinhas



Fonte: (O AUTOR, 2017)

Figura 22 – Faces da PCI do módulo de 3 bolinhas



Fonte: (O AUTOR, 2017)

TODO: consumo da mesa

### 3.3 PROJETO DA INTERFACE

Como já brevemente introduzido pela [Seção 3.1](#) (Concepção do Projeto), a Interface tem a função de interligar as seções Matriz e Controlador. Contudo, deve-se atentar a algumas



questões:

- I. Os LEDs devem formar um barramento sequencial da esquerda para a direita; de baixo para cima;
- II. A referência de cada sensor deve ser embarcada no barramento na mesma ordem que os LEDs;
- III. Por integrar dois barramentos de frequências razoáveis (NRZ @800kHz e SPI @4MHz, LEDs e sensores respectivamente), deve-se evitar construir trilhas com quinas abruptas, em função da reflexão do sinal;
- IV. As trilhas de potência devem ser adequadas para aguentarem a corrente no caso mais extremo.

TODO: NET TIE

TODO: diagrama com 9 registradores, 8 registradores, placa 1, placa 2

TODO: um com 9, outro com 8, configuração através do resistor direcionador

### 3.3.1 PROJETO DA PCI DA INTERFACE

TODO: 2D placa

TODO: roteamento trilhas curvadas, dupla face FR4

TODO: net tie

TODO: 3D da placa

### 3.4 PROJETO DO CONTROLADOR

TODO: diagrama simplificado

#### 3.4.1 ALIMENTAÇÃO

TODO: separação das alimentações

TODO: fonte (diodo proteção)

TODO: net tie

#### 3.4.2 SELETOR DE CORES

TODO: shift register com os sensores

TODO: conversor de nível saída, baker clamp

TODO: sensores 3v3

#### 3.4.3 TECLADO ADC

#### 3.4.4 GRAVADOR

TODO: comunicação serial

TODO: botões

TODO: tabela função XOR? que substitui os botões

TODO: ftdi

#### 3.4.5 PROJETO DA PCI DO CONTROLADOR

TODO: 2D PCI controlador

TODO: NET TIE

TODO: 3D PCI controlador

### 3.5 PROJETO DO *FIRMWARE*

#### 3.5.1 *DEBOUNCE*

#### 3.5.2 MÁQUINA DE ESTADOS FINITA

TODO: citar a referencia gang of 4

## **4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Cada capítulo deve conter uma pequena introdução (tipicamente, um ou dois parágrafos) que deve deixar claro o objetivo e o que será discutido no capítulo, bem como a organização do capítulo.

## 5 SOBRE AS ILUSTRAÇÕES

A seguir exemplifica-se como inserir ilustrações no corpo do trabalho. As ilustrações serão indexadas automaticamente em suas respectivas listas. A numeração sequencial de figuras, tabelas e equações também ocorre de modo automático.

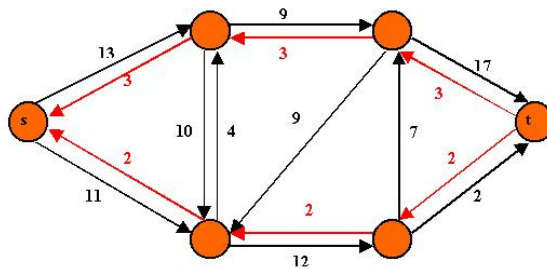
Referências cruzadas são obtidas através dos comandos `\label{}` e `\ref{}`. Sendo assim, não é necessário por exemplo, saber que o número de certo capítulo é 2 para colocar o seu número no texto. Outra forma que pode ser utilizada é esta: [Capítulo 2](#), facilitando a inserção, remoção e manejo de elementos numerados no texto sem a necessidade de renumerar todos esses elementos.

## 6 FIGURAS

Exemplo de como inserir uma figura. A [Figura 23](#) aparece automaticamente na lista de figuras. Para saber mais sobre o uso de imagens no  $\text{\LaTeX}$  consulte literatura especializada ([GOOSSENS et al., 2007](#)).

Os arquivos das figuras devem ser armazenados no diretório de `"/dados"`.

Figura 23 – Exemplo de Figura



Fonte: [IRL \(2014\)](#)

## 7 QUADROS E TABELAS

Exemplo de como inserir o

Ambos os elementos (Quadros e Tabelas) devem ser criados em arquivos separados para facilitar manutenção e armazenados no diretório de "/dados".

A diferença entre quadro e tabela está no fato que um quadro é formado por linhas horizontais e verticais. Deve ser utilizado quando o conteúdo é majoritariamente não-numérico. O número do quadro e o título vem acima do quadro, e a fonte, deve vir abaixo. E Uma tabela é formada apenas por linhas verticais. Deve ser utilizada quando o conteúdo é majoritariamente numérico. O número da tabela e o título vem acima da tabela, e a fonte, deve vir abaixo, tal como no quadro.

Tabela 4 – Resultado dos testes.

	Valores 1	Valores 2	Valores 3	Valores 4
Caso 1	0,86	0,77	0,81	163
Caso 2	0,19	0,74	0,25	180
Caso 3	1,00	1,00	1,00	170

Fonte: [Barbosa et al. \(2004\)](#)

## 8 EQUAÇÕES

Exemplo de como inserir a [Equação \(1\)](#) e a [Eq. 2](#) no corpo do texto <sup>1</sup>. Observe que foram utilizadas duas formas distintas para referenciar as equações.

$$X(s) = \int_{t=-\infty}^{\infty} x(t) e^{-st} dt \quad (1)$$

$$F(u, v) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) \exp \left[ -j2\pi \left( \frac{um}{M} + \frac{vn}{N} \right) \right] \quad (2)$$

---

<sup>1</sup>Deve-se atentar ao fato de a formatação das equações ficar muito boa esteticamente.

## 9 ALGORITMOS

Exemplo de como inserir um algoritmo. Para inserção de algoritmos utiliza-se o pacote `algorithm2e` que já está devidamente configurado dentro do template.

Os algoritmos devem ser criados em arquivos separados para facilitar manutenção e armazenados no diretório de `"/dados"`.

---

### Algoritmo 1: Exemplo de Algoritmo

---

**Input:** o número  $n$  de vértices a remover, grafo original  $G(V, E)$

**Output:** grafo reduzido  $G'(V, E)$

$removidos \leftarrow 0$

**while**  $removidos < n$  **do**

$v \leftarrow \text{Random}(1, \dots, k) \in V$

**for**  $u \in adjacentes(v)$  **do**

        remove aresta  $(u, v)$

$removidos \leftarrow removidos + 1$

**end**

**if** *há componentes desconectados* **then**

        remove os componentes desconectados

**end**

**end**

---



## 10 SOBRE AS LISTAS

Para construir listas de "*bullets*" ou listas enumeradas, inclusive listas aninhadas, é utilizado o pacote `paralist`.

Exemplo de duas listas não numeradas aninhadas, utilizando o comando `\itemize`. Observe a indentação, bem como a mudança automática do tipo de "*bullet*" nas listas aninhadas.

- item não numerado 1
- item não numerado 2
  - subitem não numerado 1
  - subitem não numerado 2
  - subitem não numerado 3
- item não numerado 3

Exemplo de duas listas numeradas aninhadas, utilizando o comando `\enumerate`. Observe a numeração progressiva e indentação das listas aninhadas.

1. item numerado 1
2. item numerado 2
  - a) subitem numerado 1
  - b) subitem numerado 2
  - c) subitem numerado 3
3. item numerado 3

## **11 SOBRE AS CITAÇÕES E CHAMADAS DE REFERÊNCIAS**

Citações são trechos de texto ou informações obtidas de materiais consultados quando da elaboração do trabalho. São utilizadas no texto com o propósito de esclarecer, completar e embasar as ideias do autor. Todas as publicações consultadas e utilizadas (por meio de citações) devem ser listadas, obrigatoriamente, nas referências bibliográficas, para preservar os direitos autorais. São classificadas em citações indiretas e diretas.

## 12 CITAÇÕES INDIRETAS

É a transcrição, com suas próprias palavras, das idéias de um autor, mantendo-se o sentido original. A citação indireta é a maneira que o pesquisador tem de ler, compreender e gerar conhecimento a partir do conhecimento de outros autores. Quanto à chamada da referência, ela pode ser feita de duas maneiras distintas, conforme o nome do(s) autor(es) façam parte do seu texto ou não. Exemplo de chamada fazendo parte do texto:

Enquanto [Maturana e Varela \(2003\)](#) defendem uma epistemologia baseada na biologia. Para os autores, é necessário rever . . . .

A chamada de referência foi feita com o comando `\citeonline{chave}`, que produzirá a formatação correta.

A segunda forma de fazer uma chamada de referência deve ser utilizada quando se quer evitar uma interrupção na sequência do texto, o que poderia, eventualmente, prejudicar a leitura. Assim, a citação é feita e imediatamente após a obra referenciada deve ser colocada entre parênteses. Porém, neste caso específico, o nome do autor deve vir em caixa alta, seguido do ano da publicação. Exemplo de chamada não fazendo parte do texto:

Há defensores da epistemologia baseada na biologia que argumentam em favor da necessidade de . . . ([MATURANA; VARELA, 2003](#)).

Nesse caso a chamada de referência deve ser feita com o comando `\cite{chave}`, que produzirá a formatação correta.

## 13 CITAÇÕES DIRETAS

É a transcrição ou cópia de um parágrafo, de uma frase, de parte dela ou de uma expressão, usando exatamente as mesmas palavras adotadas pelo autor do trabalho consultado.

Quanto à chamada da referência, ela pode ser feita de qualquer das duas maneiras já mencionadas nas citações indiretas, conforme o nome do(s) autor(es) façam parte do texto ou não. Há duas maneiras distintas de se fazer uma citação direta, conforme o trecho citado seja longo ou curto.

Quando o trecho citado é longo (4 ou mais linhas) deve-se usar um parágrafo específico para a citação, na forma de um texto recuado (4 cm da margem esquerda), com tamanho de letra menor e espaçamento entrelinhas simples. Exemplo de citação longa:

Desse modo, opera-se uma ruptura decisiva entre a reflexividade filosófica, isto é a possibilidade do sujeito de pensar e de refletir, e a objetividade científica. Encontramo-nos num ponto em que o conhecimento científico está sem consciência. Sem consciência moral, sem consciência reflexiva e também subjetiva. Cada vez mais o desenvolvimento extraordinário do conhecimento científico vai tornar menos praticável a própria possibilidade de reflexão do sujeito sobre a sua pesquisa (SILVA; SOUZA, 2000, p. 28).

Para fazer a citação longa deve-se utilizar os seguintes comandos:

```
\begin{citacao}  
<texto da citacao>  
\end{citacao}
```

No exemplo acima, para a chamada da referência o comando `\cite[p. ~28]{Silva2000}` foi utilizado, visto que os nomes dos autores não são parte do trecho citado. É necessário também indicar o número da página da obra citada que contém o trecho citado.

Quando o trecho citado é curto (3 ou menos linhas) ele deve inserido diretamente no texto entre aspas. Exemplos de citação curta:

A epistemologia baseada na biologia parte do princípio de que "assumo que não posso fazer referência a entidades independentes de mim para construir meu explicar"(MATURANA; VARELA, 2003, p. 35).

A epistemologia baseada na biologia de Maturana e Varela (2003, p. 35) parte do princípio de que "assumo que não posso fazer referência a entidades independentes de mim para construir meu explicar".

## 14 DETALHES SOBRE AS CHAMADAS DE REFERÊNCIAS

Outros exemplos de comandos para as chamadas de referências e o resultado produzido por estes:

```
Maturana e Varela (2003) \citeonline{Maturana2003}
Barbosa et al. (2004) \citeonline{Barbosa2004}
(SILVA; SOUZA, 2000, p. 28) \cite[p.~28]{Silva2000}
Silva e Souza (2000, p. 33) \citeonline[p.~33]{v}
(MATURANA; VARELA, 2003, p. 35) \cite[p.~35]{Maturana2003}
Maturana e Varela (2003, p. 35) \citeonline[p.~35]{Maturana2003}
(BARBOSA et al., 2004; MATURANA; VARELA, 2003) \cite{Barbosa2004,Maturana2003}
```

## 15 SOBRE AS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A bibliografia é feita no padrão Bib $\text{\TeX}$ . As referências são colocadas em um arquivo separado. Neste template as referências são armazenadas no arquivo "base-referencias.bib".

Existem diversas categorias documentos e materiais componentes da bibliografia. A classe abn $\text{\TeX}$  define as seguintes categorias (entradas):

```
@book
@inbook
@article
@phdthesis
@mastersthesis
@monography
@techreport
@manual
@proceedings
@inproceedings
@journalpart
@booklet
@patent
@unpublished
@misc
```

Cada categoria (entrada) é formatada pelo pacote [abn \$\text{\TeX}\$ 2](#) e [Araujo \(2014b\)](#) de uma forma específica. Algumas entradas foram introduzidas especificamente para atender à norma [ABNT \(2002\)](#), são elas: @monography, @journalpart,@patent. As demais entradas são padrão Bib $\text{\TeX}$ . Para maiores detalhes, refira-se a [abn \$\text{\TeX}\$ 2 e Araujo \(2014b\)](#), [abn \$\text{\TeX}\$ 2 e Araujo \(2014a\)](#), [Araujo e abn \$\text{\TeX}\$ 2 \(2014\)](#).

## 16 NOTAS DE RODAPÉ

As notas de rodapé pode ser classificadas em duas categorias: notas explicativas<sup>1</sup> e notas de referências. A notas de referências, como o próprio nome já indica, são utilizadas para colocar referências e/ou chamadas de referências sob certas condições.

---

<sup>1</sup>é o tipo mais comum de notas que destacam, explicam e/ou complementam o que foi dito no corpo do texto, como esta nota de rodapé, por exemplo.

## 17 CONCLUSÃO

Parte final do texto, na qual se apresentam as conclusões do trabalho acadêmico. É importante fazer uma análise crítica do trabalho, destacando os principais resultados e as contribuições do trabalho para a área de pesquisa.

### 17.1 TRABALHOS FUTUROS

Também deve indicar, se possível e/ou conveniente, como o trabalho pode ser estendido ou aprimorado.

### 17.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Encerramento do trabalho acadêmico.



## Referências

- ABNTEX2; ARAUJO, L. C. **A classe abntex2**: Documentos técnicos e científicos brasileiros compatíveis com as normas abnt. [S.l.], 2014. 46 p. Disponível em: <<http://abntex2.googlecode.com/>>. Acesso em: 12 de setembro de 2014. Citado na página 33.
- ABNTEX2; ARAUJO, L. C. **O pacote abntex2cite**: Estilos bibliográficos compatíveis com a abnt nbr 6023. [S.l.], 2014. 91 p. Disponível em: <<http://abntex2.googlecode.com/>>. Acesso em: 12 de setembro de 2014. Citado na página 33.
- ARAUJO, L. C.; ABNTEX2. **O pacote abntex2cite**: Tópicos específicos da abnt nbr 10520:2002 e o estilo bibliográfico alfabético (sistema autor-data). [S.l.], 2014. 23 p. Disponível em: <<http://abntex2.googlecode.com/>>. Acesso em: 12 de setembro de 2014. Citado na página 33.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação — referências — elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24 p. Citado na página 33.
- BARBOSA, C. et al. **Testando a utilização de “et al.”**. 2. ed. Cidade: Editora, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 32.
- BURGESS, P. **Adafruit NeoPixel Überguide**. 2017. Disponível em: <<https://learn.adafruit.com/adafruit-neopixel-uberguide>>. Acesso em: 22 de novembro de 2018. Citado na página 9.
- Espressif Systems. **ESP8266EX Datasheet**. 2018. Disponível em: <[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf)>. Acesso em: 19 de novembro de 2018. Citado na página 12.
- GANSSE, J. **A Guide to Debouncing**. 2007. Disponível em: <<https://cseweb.ucsd.edu/classes/sp07/cse140L/debounce.pdf>>. Acesso em: 22 de novembro de 2018. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.
- GOOSSENS, M. et al. **The LaTeX graphics companion**. 2. ed. Boston: Addison-Wesley, 2007. Citado na página 24.
- GREENSTED, A. **Switch Debouncing**. 2010. Disponível em: <<http://www.labbookpages.co.uk/electronics/debounce.html>>. Acesso em: 22 de novembro de 2018. Citado na página 14.
- HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK, R. **Fundamentals of Physics**. 8. ed. [S.l.]: Wiley, 2007. Citado na página 5.
- HOROWITZ, P.; HILL, W. **The Art Of Electronics**. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 1989. Citado 3 vezes nas páginas 9, 10 e 11.
- IRL. **Internet Research Laboratory**. 2014. Disponível em: <<http://irl.cs.ucla.edu/topology>>. Acesso em: 8 de março de 2014. Citado na página 24.
- KOLBAN, N. **Kolban’s Book on ESP8266**. 1. ed. Texas: [s.n.], 2016. Citado 3 vezes nas páginas 11, 12 e 13.
- MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. **A Árvore do Conhecimento**: as bases biológicas da compreensão humana. 3. ed. São Paulo: Editora Palas Athena, 2003. Citado 3 vezes nas páginas 30, 31 e 32.

NXP Semiconductors. **74HC165; 74HCT165 - 8-bit parallel-in/serial out shift register**. 2017. Disponível em: <[https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC\\_HCT165.pdf](https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT165.pdf)>. Acesso em: 15 de novembro de 2018. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 8.

SILVA, J.; SOUZA, J. a. L. **A Inteligência da Complexidade**. São Paulo: Editora Petrópolis, 2000. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

UNESCO. **International Year of Light**. 2015. Disponível em: <<http://www.light2015.org/Home/Event-Programme.html>>. Acesso em: 15 de novembro de 2018. Citado na página 1.

United Nations. International year of light and light-based technologies 2015: Resolution adopted by the general assembly on 20 december 2013. n. 3, p. 1–3, 2014. Citado na página 1.

Vishay Semiconductors. **Reflective Optical Sensor with Transistor Output**. 2008. Disponível em: <<https://www.vishay.com/docs/83760/tcrt5000.pdf>>. Acesso em: 15 de novembro de 2018. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 7.

## Apêndices

## **APÊNDICE A – Nome do apêndice**

Lembre-se que a diferença entre apêndice e anexo diz respeito à autoria do texto e/ou material ali colocado.

Caso o material ou texto suplementar ou complementar seja de sua autoria, então ele deverá ser colocado como um apêndice. Porém, caso a autoria seja de terceiros, então o material ou texto deverá ser colocado como anexo.

Caso seja conveniente, podem ser criados outros apêndices para o seu trabalho acadêmico. Basta recortar e colar este trecho neste mesmo documento. Lembre-se de alterar o "label" do apêndice.

Não é aconselhável colocar tudo que é complementar em um único apêndice. Organize os apêndices de modo que, em cada um deles, haja um único tipo de conteúdo. Isso facilita a leitura e compreensão para o leitor do trabalho.

**APÊNDICE B – Nome do outro apêndice**

conteúdo do novo apêndice

Anexos

## **ANEXO A – Nome do anexo**

Lembre-se que a diferença entre apêndice e anexo diz respeito à autoria do texto e/ou material ali colocado.

Caso o material ou texto suplementar ou complementar seja de sua autoria, então ele deverá ser colocado como um apêndice. Porém, caso a autoria seja de terceiros, então o material ou texto deverá ser colocado como anexo.

Caso seja conveniente, podem ser criados outros anexos para o seu trabalho acadêmico. Basta recortar e colar este trecho neste mesmo documento. Lembre-se de alterar o "label" do anexo.

Organize seus anexos de modo a que, em cada um deles, haja um único tipo de conteúdo. Isso facilita a leitura e compreensão para o leitor do trabalho. É para ele que você escreve.

**ANEXO B – Nome do outro anexo**

conteúdo do outro anexo