

**CENTRO PAULA SOUZA**  
**FATEC SANTO ANDRÉ**  
**Tecnologia Em Eletrônica Automotiva**

**Lucas Luciano da Silva**

**EFEITO DA UMIDADE NA ILUMINAÇÃO DE FARÓIS AUTOMOTIVOS**

**Santo André**

**2025**

**Lucas Luciano da Silva**

**EFEITO DA UMIDADE NA ILUMINAÇÃO DE FARÓIS AUTOMOTIVOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Tecnologia em eletrônica Automotiva da Fatec Santo André, orientado pelo Prof. Dr. Edson Caoru Kitani, como requisito parcial para obtenção do título em tecnólogo em eletrônica automotiva.

**Santo André**

**2025**

## FICHA CATALOGRÁFICA

S586e

Silva, Lucas Luciano da  
Efeito da umidade na iluminação de faróis automotivos / Lucas Luciano da Silva. - Santo André, 2026. – 53f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.  
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2026.

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani

1. Eletrônica. 2. Veículos. 3. Faróis automotivos. 4. Tecnologia. 5. Iluminação. 6. Sensores. 7. Estudo. I. Efeito da umidade na iluminação de faróis automotivos.

629.2

## LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 06 de dezembro de 2025.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA: “EFEITO  
DA UMIDADE NA ILUMINAÇÃO DE FARÓIS AUTOMOTIVOS” DOS  
ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

**BANCA**

PRESIDENTE:

PROF. EDSON CAORU KITANI

MEMBROS:

PROF. FERNANDO GARUP DALBO

PROF. ADRIANO RIBOLLA

**ALUNOS:**

LUCAS LUCIANO DA SILVA

Lucas Luciano

Dedico este trabalho de conclusão de curso a minha família em especial meus pais que sempre estão caminhando junto comigo e me apoiando, e avós que me ensinaram o valor da dedicação e que o trabalho devolve.

## **AGRADECIMENTOS**

A instituição Fatec Santo André e todo o seu grupo de funcionários, em especial ao Prof. Edson Caoru Kitani que foi meu orientador e mostrou que seria possível realizar este trabalho. E ao colega do serviço Edinei Bueno, por auxiliar na montagem do projeto.

“Você, eu, ninguém vai bater tão forte como a vida, mas não se trata de bater forte. Se trata de quanto você aguenta apanhar e seguir em frente, o quanto você é capaz de aguentar e continuar tentando. É assim que se consegue vencer. “

Rocky Balboa

## RESUMO

O trabalho tem como objetivo analisar como a umidade dentro de faróis automotivos afeta sua iluminação, utilizando sensores *LDR* para medir a intensidade de luz. Inicialmente, foram feitas simulações no *Wokwi* com potenciômetros representando os sensores, permitindo ajustes e validação do sistema antes da prática. Em seguida, os *LDR's* foram montados em protoboard e conectados ao *Raspberry Pi Pico*, que registrou e exibiu os valores em um display *OLED*. Os dados coletados mostraram que a umidade reduz a intensidade luminosa percebida, indicando perda de eficiência e possível risco à segurança. O estudo confirma que *LDR's* são adequados para monitorar variações de iluminação e destaca a importância da vedação e manutenção dos faróis. A metodologia combinada de simulação e experimento pode ser aplicada a outros sensores e condições ambientais, contribuindo para melhorias em projetos e na segurança veicular.

**Palavras-chaves:** *LDR. Raspberry Pi Pico. Analisar. Farol.*

## **ABSTRACT**

This work aims to analyze how humidity inside automotive headlights affects their illumination, using LDR sensors to measure light intensity. Initially, simulations were performed in Wokwi with potentiometers representing the sensors, allowing adjustments and validation of the system before practical application. Subsequently, the LDRs were mounted on a breadboard and connected to a Raspberry Pi Pico, which recorded and displayed the values on an OLED display. The collected data showed that humidity reduces the perceived light intensity, indicating a loss of efficiency and a potential safety risk. The study confirms that LDRs are suitable for monitoring illumination variations and highlights the importance of good sealing and maintenance of headlights. The combined methodology of simulation and experimentation can be applied to other sensors and environmental conditions, contributing to improvements in vehicle design and safety.

**Keywords: LDR. Raspberry Pi Pico. Analyze. Headlight.**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Lâmpada halógena modelo H4, marca Osram	16
Figura 2: Lâmpada de descarga a gás modelo D3S, marca Osram	16
Figura 3: Lâmpada de led modelo H7, marca Osram	17
Figura 4: Temperatura relativa na superfície da lente	18
Figura 5: Potência relativa	18
Figura 6: Topologia do protótipo	19
Figura 7: NodeMCU ESP-12F	19
Figura 8: Sensor DHT-11	20
Figura 9: Comparação entre o protótipo e um ar-condicionado	21
Figura 10: Ensaio de compressão	22
Figura 11: Tensão de compressão x Umidade relativa	23
Figura 12: Resistência x Umidade absoluta	23
Figura 13: Fluxograma	25
Figura 14: Diagrama de blocos do trabalho	25
Figura 15: Ensaio da distância	26
Figura 16: Cartolina	27
Figura 17: Esquema elétrico	27
Figura 18: Suporte dos faróis	28
Figura 19: Tela inicial do <i>Wokwi</i>	29
Figura 20: <i>Raspberry pi pico</i>	29
Figura 21: <i>display</i> de <i>OLED</i>	30
Figura 22: Sensor <i>LDR</i>	30
Figura 23: <i>CPU</i> Fatec G3	31
Figura 24: Farol de milha	31

Figura 25: Simulação no <i>Wokwi</i>	32
Figura 26: Guia deslizante	32
Figura 27: Rede de sensores	33
Figura 28: Montagem do trabalho	33
Figura 29: Luxímetro	35
Figura 30: Valor de <i>Offset</i>	35
Figura 31: Valor 0 lux	36
Figura 32: Teste de calibração	36
Figura 33: Tabela de correlação	37
Figura 34: Gráfico da correlação	37
Figura 35: Gráfico	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**HTML** - *Hypertext Markup Language*

**CSS** - *Cascading Style Sheets*

**JS** – *JavaScript*

**CPU** - *Central Processing Unit*

**LED** - *Light Emitting Diode*

**IR** - *Infravermelha*

**UV** - *Ultravioleta*

**IoT** - *Internet of Things*

**EPS** - *Poliestireno Expandido*

**OLED** - *Organic Light-Emitting Diode*

**LDR** - *Light Dependent Resistor*

**nF** - *Nanofarad*

**μF** - *Microfarad*

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Motivação.....	14
1.2. Objetivo.....	14
1.3. Metas e resultados esperados.....	14
1.4. Organização do trabalho.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1. Comparação entre faróis automotivos convencionais e aqueles que empregam diodos emissores de luz.....	15
2.2. Protótipo para monitorar e analisar temperatura e umidade.....	19
2.3. Determinação do percentual de umidade em peças de poliestireno expandido pelo teste da resistência elétrica.....	22
3. METODOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	25
3.1. Funções dos componentes.....	28
4. RESULTADOS.....	34
5. CONCLUSÃO.....	43
5.1. Propostas futuras.....	43
6. REFERÊNCIAS.....	44
APÊNDICES.....	45
APÊNDICE A - ESQUEMA ELÉTRICO.....	46
APÊNDICE B - CÓDIGO DO WOKWI.....	47
APÊNDICE C - DESENHO DO GUIA.....	50
APÊNDICE D - TABELA DE CORRELAÇÃO.....	51



## 1. INTRODUÇÃO

As primeiras utilizações do farol foram lanternas a óleo ou querosene, que tinham um espelho de metal polido atrás da chama, que melhorava sua eficiência e concentração de luz, isso no final do século XIX, segundo Toyota (2013) este tipo de iluminação foi utilizada até 1901, os que duraram mais tempo foram os faróis de carboneto (gás de acetileno) até 1910.

A iluminação com eletricidade para automóveis surgiu em uma pequena escala por volta de 1901, através de um dínamo movido pelo volante do motor.

No século XX obteve-se um grande salto no desempenho dos faróis devido a criação da lâmpada incandescente, em 1924 foram criadas as lâmpadas de duplo filamento: um filamento era o facho baixo usado para clarear as vias, não ofuscando outros condutores, o outro, facho alto, tinha uma capacidade de iluminação maior, projetado para frente, utilizado para iluminação de obstáculos mais à diante na via.

Outros avanços tecnológicos foram os faróis selados solucionando o problema de acúmulo de poeira e umidade conhecidos como *sealed beam* lançados no ano de 1939 (Toyota, 2013), segundo Martins (2005) este tipo de farol era construído de maneira selada por uma lente prismática, refletor parabólico, filamentos e preenchidos por gás inerte, devido ao seu problema de ofuscamento foram substituídos pelos faróis assimétricos.

Onde o facho direito e esquerdo se sobrepõe, isso é conseguido pelas ranhuras no vidro do farol, mas hoje, como estas lentes são lisas, a "assimetria" é conseguida pela parábola refletora (chamadas de "superfície complexa"). Com isso o problema do escudo defletor é eliminado trazendo um ganho de 45% de luminosidade.

Como o farol é um item de segurança em seu projeto ótico ele deve atender os requisitos de melhor distribuição de luz e menor ofuscamento ao condutor que está em posição contrária ou a frente, trazendo iluminação a via e placas de sinalização.

## 1.1 Motivação

Ao observarmos os automóveis nas ruas, percebemos que não apenas os carros mais antigos, mas também os modelos mais recentes apresentam sinais de umidade. Demonstrar a diferença entre um farol seco e um úmido pode evidenciar a importância de manter o sistema de iluminação do veículo em bom estado. A umidade não afeta apenas a luminosidade, mas também reduz a vida útil dos componentes, o que destaca a necessidade de cuidados preventivos.

## 1.2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo analisar a intensidade luminosa do farol automotivo com lâmpada halógena, a fim de demonstrar, de maneira prática, o quanto a umidade pode afetar a iluminação do veículo.

## 1.3 Metas e resultados esperados

- Criar uma versão simulada na plataforma *Wokwi*;
- Montar o sistema na CPU FATEC;
- Montar a rede de sensores *Light Dependent Resistor (LDR)*;
- E com isso monitorar e analisar a intensidade luminosa;

## 1.4 Organização do trabalho

Este trabalho está dividido da seguinte forma, o capítulo 1 apresenta: Introdução com uma breve história dos faróis, o capítulo 2: Referencial teórico, o capítulo 3 apresenta: Os componentes utilizados e a metodologia, capítulo 4: Resultados, capítulo 5: Conclusão e Projetos futuros e por fim o capítulo 6: Referências.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo aborda os principais trabalhos utilizados como referência para o desenvolvimento do projeto, oferecendo uma base acadêmica às informações apresentadas e auxiliando na interpretação dos resultados obtidos nos testes práticos.

No estudo de Martins (2005) sobre a comparação de faróis, são apresentados a história dos faróis, seu papel na segurança veicular e, com base em testes, seu comportamento em relação à temperatura interna, um aspecto relevante para este projeto.

O trabalho de Kogos (2021) sobre análise de umidade e temperatura avalia o desempenho de sensores de umidade, e fornece *insights* importantes para um projeto futuro, que pode ser a utilização de um sensor, para o monitoramento da umidade.

Já no estudo de Carmo (2020) sobre o percentual de umidade, são realizados diversos testes em peças de Poliestireno Expandido (EPS), permitindo compreender melhor o tema da umidade por meio de gráficos comparativos e relações exploradas.

Ao final, será apresentada uma tabela que resuma a análise dos trabalhos consultados e destaque os pontos mais relevantes para o desenvolvimento do projeto.

### 2.1 Comparação entre faróis automotivos convencionais e aqueles que empregam diodos emissores de luz

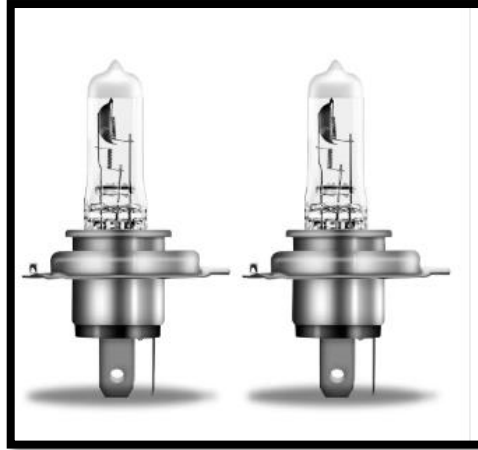
Martins (2005) estudou as tecnologias usadas em faróis automotivos, comparando faróis convencionais com faróis que utilizam *Light Emitting Diode (LED)*.

O estudo comparou os desempenhos dos faróis automotivos convencionais (com lâmpadas incandescentes e de descarga de gás) com faróis que empregam diodos emissores de luz (*LEDs*). A comparação foi feita com base em testes práticos e teóricos de desempenho, temperatura, de resistência mecânica e de *design*.

As lâmpadas incandescentes são conhecidas pela sua simplicidade e baixo custo, mas geram muito calor e têm menor eficiência luminosa.

Uma lâmpada do tipo halógena automotiva pode ser observada na figura 1.

Figura 1 - Lâmpada halógena modelo H4, marca Osram



Fonte: Osram (2024)

Lâmpadas de descarga de gás oferecem maior eficiência luminosa do que as incandescentes, mas têm o problema de acrescentar peso ao veículo e exigem componentes eletrônicos adicionais, como sistemas de ignição. Na figura 2, podemos ver uma lâmpada de descarga a gás.

Figura 2 - Lâmpada de descarga a gás modelo D1S, marca Osram



Fonte: Osram (2024)

Faróis de *LED* apresentam vantagens como maior eficiência energética, menor ocupação de espaço e maior durabilidade, além de não emitirem luz infravermelha (IR) nem ultravioleta (UV). No entanto, enfrentam desafios como a dissipação de calor e custos elevados.

Na figura 3, podemos visualizar uma lâmpada de *LED*.

Figura 3 - Lâmpada de led modelo H7, marca Osram



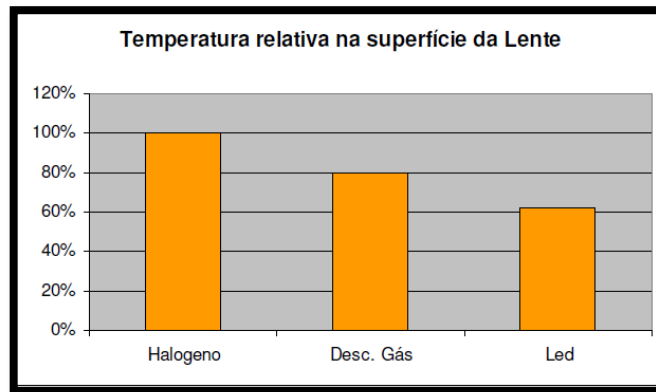
Fonte: Osram (2024)

Foram realizados ensaios comparativos em laboratório, medindo a eficácia luminosa, a distribuição de calor e a resistência dos diferentes tipos de faróis. O *LED* se mostrou promissor, com melhor eficiência energética e flexibilidade de design, mas ainda apresenta desafios técnicos, especialmente relacionados à dissipação térmica.

Os faróis de *LED* têm várias vantagens em relação às tecnologias convencionais, como menor consumo de energia, maior durabilidade e maior flexibilidade de design. No entanto, problemas como custo elevado e a necessidade de melhor gerenciamento térmico limitam a adoção em massa.

Na figura 4, podemos ver uma comparação entre as lâmpadas, mostrando a temperatura relativa na superfície das lentes.

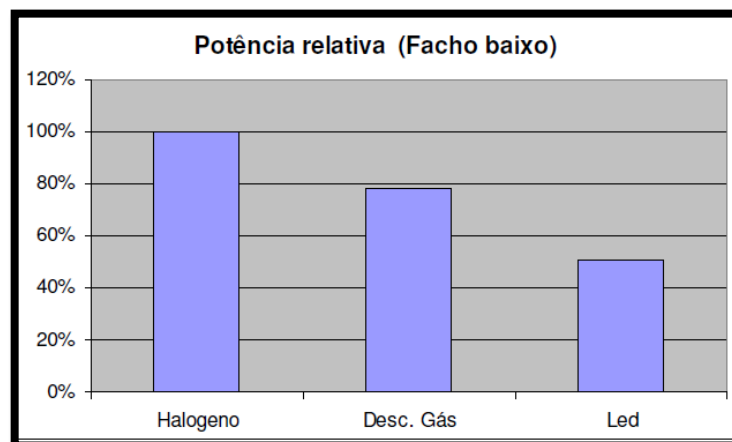
Figura 4 - Temperatura relativa na superfície da lente



Fonte: Martins (2005)

Na figura 5, apresentamos um gráfico mostrando a potência relativa de cada lâmpada.

Figura 5 - Potência relativa

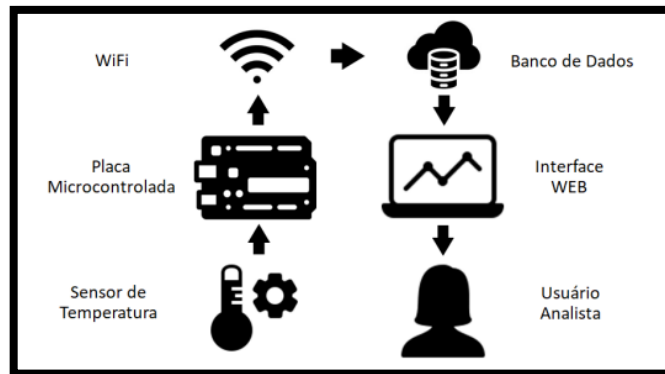


Fonte: Martins (2005)

## 2.2 Protótipo para monitorar e analisar temperatura e umidade

De acordo com Kogos (2021) que realizou em seu trabalho o desenvolvimento de um sistema de monitoramento que analisa a temperatura e a umidade em ambientes fechados, usando conceitos de *Internet of Things* (IoT). O projeto foi baseado em um NodeMCU (ESP8266) conectado a um sensor DHT-11 para medir temperatura e umidade em ambientes fechados, com os dados sendo enviados em tempo real para um banco de dados na nuvem (*Firebase*) e acessíveis via uma *interface web*. Podemos ver a topologia do trabalho na figura 6.

Figura 6 - Topologia do trabalho



Fonte: Kogos (2021)

O microcontrolador utilizado foi um NodeMCU ESP-12F com conectividade Wi-Fi embutida, conforme mostra a figura 7.

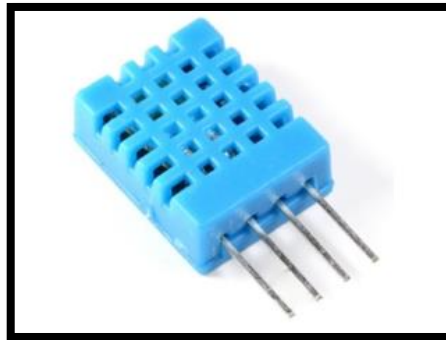
Figura 7 - NodeMCU ESP-12F.



Fonte: Kogos (2021)

Para medir a temperatura e a umidade relativa do ar a autora utilizou um sensor de temperatura e umidade denominado DHT-11. Na figura 8, podemos visualizar o sensor DHT-11.

Figura 8 - sensor DHT-11



Fonte: Kogos (2021)

Já o *firebase* foi o banco de dados em nuvem utilizado para armazenar os dados coletados e sincronizá-los em tempo real.

A *Interface Web* foi desenvolvida com - *Hypertext Markup Language* (HTML), *Cascading Style Sheets* (CSS), *JavaScript* (JS), e utilizando o *framework Bootstrap* que permite que os dados de temperatura e umidade sejam exibidos para o usuário.

O sistema coleta dados de temperatura e umidade em intervalos regulares e os envia para o *Firestore*. A *interface web* permite a visualizar os dados em tempo real e o acessar o histórico de medições.

O protótipo foi testado em diversos cenários, incluindo ambientes de escritório e um *Cyber Data Center*, o que validou sua eficácia na medição de temperatura e umidade. O sistema teve uma precisão aceitável ao comparar os dados com os dispositivos comerciais, como controles de ar-condicionado.

O protótipo mostrou-se eficiente na medição e análise de temperatura e umidade, com a possibilidade de melhorias futuras, como a otimização da *interface web* para novos usos. Como vemos na figura 9, a comparação do protótipo que foi desenvolvido e um ar-condicionado que é comercializado.

Nesta tabela, é possível ver que o protótipo foi capaz de realizar as medições com uma margem de erro menor em comparação com ar-condicionado, produto comercializado e que envolve maior investimento.

Figura 9 - Comparação entre o protótipo e um ar-condicionado

<b>Aquisição</b>	<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Temp. Ar Cond. ( °C)</b>	<b>Temp. Protótipo (°C)</b>	<b>Erro (%)</b>
1	26/09/2020	09:30	22	23,5	6,82%
2	26/09/2020	09:31	22	23,6	7,27%
3	26/09/2020	09:32	23	23,8	3,48%
4	26/09/2020	09:33	23	23,9	3,91%
5	26/09/2020	09:34	23	24,1	4,78%
6	26/09/2020	09:35	23	24,3	5,65%
7	26/09/2020	09:36	23	24,4	6,09%
8	26/09/2020	09:37	23	24,5	6,52%
9	26/09/2020	09:38	24	24,6	2,50%
10	26/09/2020	09:39	24	24,5	2,08%
11	26/09/2020	09:40	24	24,3	1,25%
12	26/09/2020	09:41	24	24,1	0,42%
13	26/09/2020	09:42	24	23,9	0,42%
14	26/09/2020	09:43	24	23,6	1,67%
15	26/09/2020	09:44	23	23,3	1,30%
16	26/09/2020	09:45	23	23,1	0,43%
17	26/09/2020	09:46	23	22,8	0,87%
18	26/09/2020	09:47	23	22,7	1,30%
19	26/09/2020	09:48	23	22,4	2,61%
20	26/09/2020	09:49	23	22,1	3,91%
21	26/09/2020	09:50	22	21,9	0,45%
22	26/09/2020	09:51	22	21,7	1,36%
23	26/09/2020	09:52	22	21,6	1,82%
24	26/09/2020	09:53	22	21,4	2,73%
25	26/09/2020	09:54	22	21,3	3,18%
26	26/09/2020	09:55	22	21,2	3,64%
27	26/09/2020	09:56	21	21,1	0,48%
28	26/09/2020	09:57	21	21	0,00%
29	26/09/2020	09:58	21	20,9	0,48%
30	26/09/2020	09:59	21	20,8	0,95%

Fonte: Kogos (2021)

Este trabalho se mostrou uma excelente fonte de pesquisa, pois permitiu a implementação de um sistema alinhado com uma proposta futura. Por meio dele, foi possível avaliar a precisão do sensor de umidade, o desempenho do código desenvolvido e o papel fundamental do microcontrolador. Conclui-se que é viável executar este projeto e obter resultados satisfatórios no futuro.

### **2.3 Determinação do percentual de umidade em peças de poliestireno expandido pelo teste da resistência elétrica**

Segundo Carmo (2020), que estudou, em seu artigo científico um método mais eficiente e econômico para medir a umidade residual, que é um fator importante no desempenho térmico e mecânico do EPS.

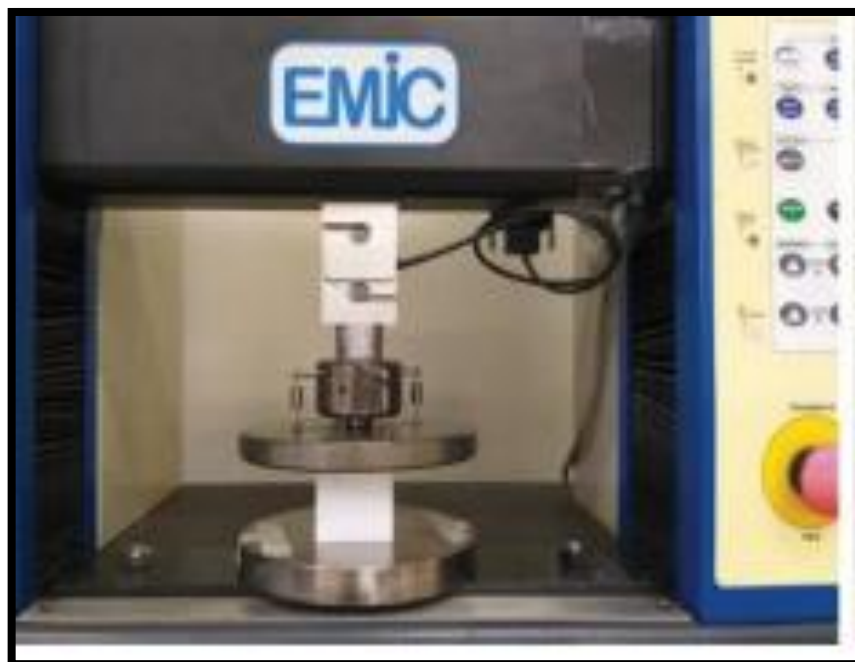
Propôs um método para calcular o percentual de umidade com base na resistência elétrica, que pode ser realizado diretamente na linha de produção com um megômetro digital, sem necessidade de transportar as peças para pesagem.

A umidade afeta a compressibilidade e o desempenho mecânico das peças. O controle da umidade é crucial, especialmente em indústrias como a de eletrodomésticos, onde a embalagem de EPS protege produtos sensíveis.

Realizaram-se testes de compressão e resistência elétrica em amostras de EPS, correlacionando os resultados com a umidade do material.

O estudo concluiu que o método proposto permite detectar umidade residual e estimar a resistência à compressão de forma não destrutiva. A Figura 10, mostra a máquina utilizada nos testes de compressão.

Figura 10 - Ensaio de compressão



Fonte: Carmo (2020)

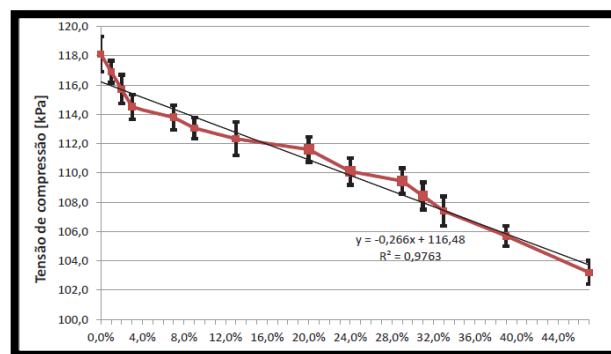
A umidade absoluta é a quantidade real de água presente em um material, expressa como uma proporção de massa de água em relação à massa seca do material.

Por isso, o controle da umidade absoluta é essencial, já que valores elevados podem prejudicar propriedades mecânicas, térmicas e até causar oxidação ou danos em aplicações industriais.

A umidade relativa, por sua vez, é um conceito diferente e está relacionada ao ar, não diretamente ao material sólido. Ela representa a relação percentual entre a quantidade de vapor de água presente no ar e a quantidade máxima que esse ar poderia conter na mesma temperatura, antes de ocorrer condensação.

Na figura 11, observam-se os valores médios de tensão de compressão em função da umidade absoluta.

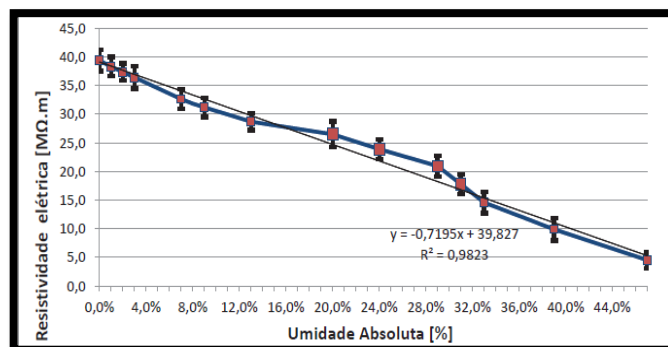
Figura 11 - Tensão de compressão x Umidade relativa



Fonte: Carmo (2020)

Figura 12, temos o gráfico da resistência elétrica em função da umidade absoluta

Figura 12 - Resistência x Umidade absoluta



Fonte: Carmo (2020)

Na Tabela comparativa com os textos encontrados é apresentada a comparação entre os três trabalhos utilizados como referência para a realização deste estudo, destacando os objetivos de cada pesquisa, a metodologia empregada e os principais resultados obtidos.

**Tabela comparativa com os textos encontrados**

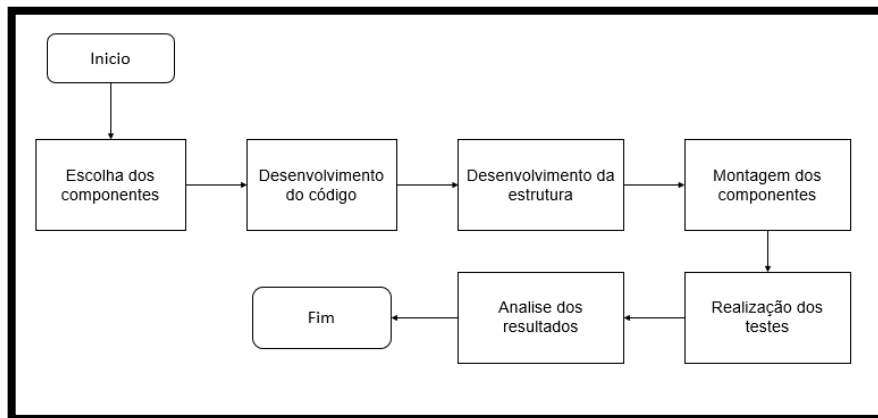
//	<b>Comparação faróis convencionais e faróis de Led Martins (2005)</b>	<b>Determinação do percentual de umidade em peças de poliestireno expandido Carmo (2020)</b>	<b>Protótipo de análise de umidade e temperatura Kogos (2021)</b>
<b>O que foi realizado</b>	Um estudo comparando lâmpadas halógenas e lâmpadas led	Teve o objetivo de desenvolver e avaliar experimentalmente a utilização de um novo sistema de detecção de umidade residual	O estudo e desenvolvimento de um protótipo para medir e analisar temperatura e umidade em ambiente fechado.
<b>Como</b>	Estudo laboratoriais para realizar a comparação e analisar os desempenhos	Foi proposta a utilização de um método que possibilite calcular o percentual de umidade, baseando-se na resistência elétrica das peças	Projetando um hardware para a medição de temperatura e umidade, implementou um banco de dados que armazenou e analisou os dados de temperatura e umidade
<b>Resultados</b>	Os leds têm uma vantagem sobre as lâmpadas halógenas, porém devido ao seu custo e dissipação de calor acaba sendo uma barreira à fabricação de faróis led	Com o artigo foi possível calcular a umidade residual absoluta das peças de forma rápida, também determinar uma resistência a compressão de maneira não destrutiva	Analisou as informações de umidade e temperatura, armazenando em nuvem de maneira organizada e clara

Fonte: Autoria própria (2025)

### 3. METODOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Este projeto tem como objetivo principal o desenvolvimento de um sistema para o monitoramento da iluminação do farol. Neste capítulo, será apresentado o fluxograma que ilustra o desenvolvimento do trabalho. A Figura 13, apresenta o fluxograma do processo.

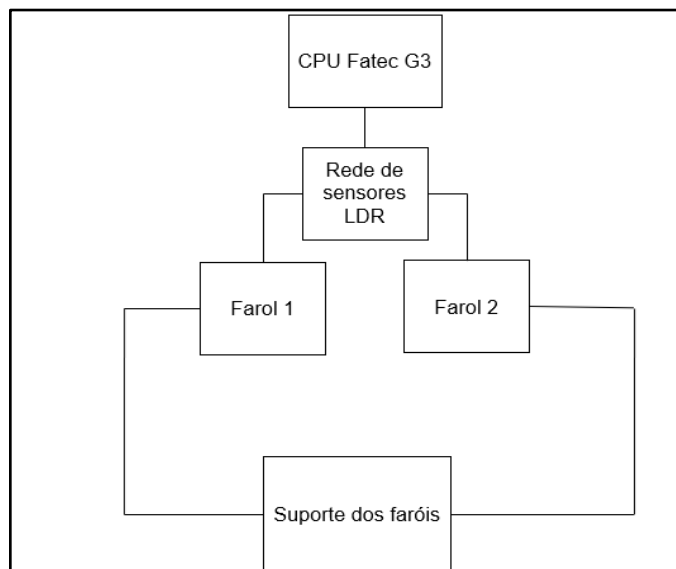
Figura 13 - Fluxograma



Fonte: Autoria Própria (2024)

Neste trabalho, por meio da comparação entre os faróis e utilizando a rede sensores *LDR* será possível captar mais de um ponto de iluminação e mostrar no *display* a queda na iluminação entre os faróis. Na Figura 14, apresenta-se o diagrama do sistema desenvolvido.

Figura 14 - Diagrama de blocos do trabalho



Fonte: Autoria própria (2024)

Para o posicionamento dos sensores e do farol, utilizou-se uma cartolina preta com um plano cartesiano, o que ajudou a definir a distância ideal para as análises. Optou-se por uma distância de 40 cm, onde o raio de iluminação fica em torno de 150 mm, indicando o diâmetro formado pela iluminação do farol, observa-se o círculo projetado sobre a cartolina, conforme apresentado na Figura 15.

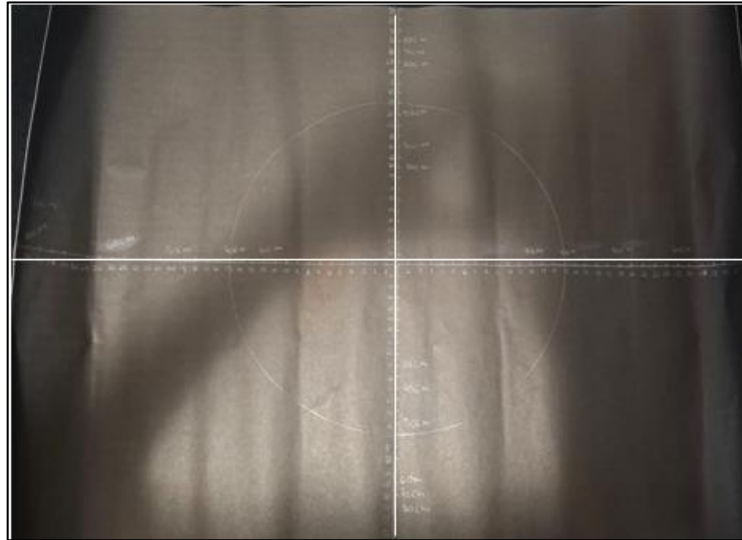
Figura 15 – Ensaio da distância



Fonte: Aatoria própria (2025)

Na Figura 16 é apresentada a cartolina utilizada no ensaio, na qual foi traçado um plano cartesiano com o objetivo de estimar, o diâmetro do fecho luminoso projetado pelo farol.

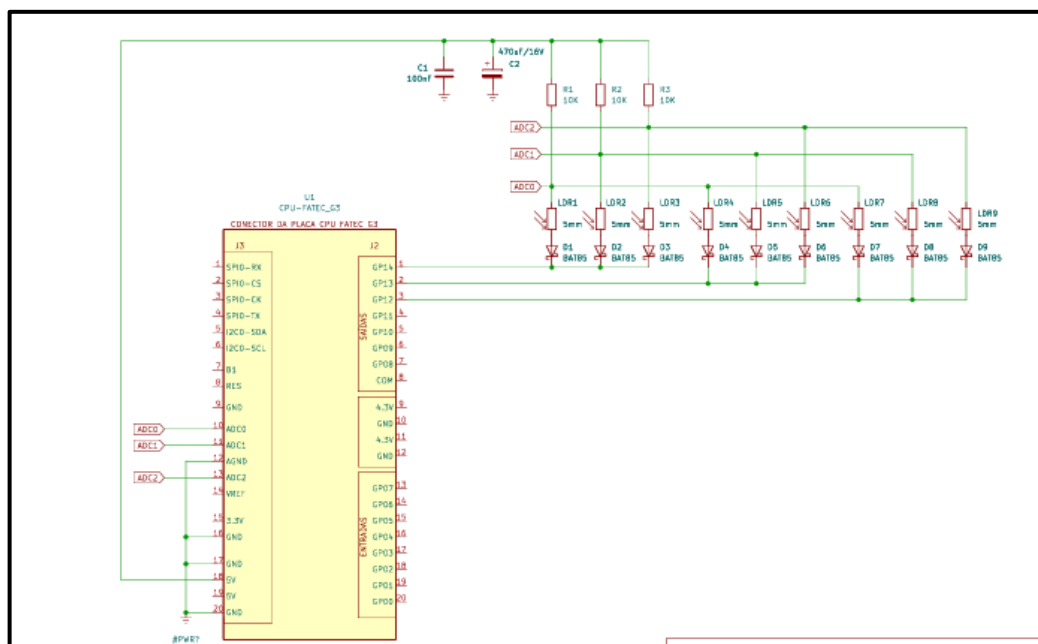
Figura 16 – Cartolina



Fonte: Autoria própria (2025)

O esquema elétrico do projeto foi desenvolvido no *software KiCad*, permitindo visualizar a rede de sensores *LDR*. A Figura 17 apresenta esse esquema, que também pode ser consultado, de forma ampliada, no Apêndice A.

Figura 17 – Esquema elétrico



Fonte: Autoria própria (2025)

No circuito desenvolvido, foi utilizado um capacitor de 100 *nanofarad* (nF), cuja função é a filtragem de ruídos de alta frequência, como interferências eletromagnéticas provenientes dos cabos e ruídos gerados pelo próprio microcontrolador. Esse capacitor contribui para a redução de oscilações rápidas que poderiam comprometer a estabilidade das leituras analógicas.

Além disso, empregou-se um capacitor de 470 *microfarad* ( $\mu\text{F}$ ), responsável pela estabilização da alimentação do circuito. Esse componente atua minimizando variações de tensão e evitando que oscilações na fonte causem leituras incorretas ou flutuações nos valores medidos pelos sensores *LDR*.

Cada sensor *LDR* possui um diodo BAT85, cuja função é reduzir interferências e proteger o circuito contra correntes indesejadas. A presença desse diodo melhora a confiabilidade das medições, proporcionando maior estabilidade nos dados apresentados no *display OLED*.

Devido à limitação do número de entradas analógicas disponíveis no *Raspberry Pi Pico*, foi adotado o método de multiplexação, possibilitando a formação de uma rede de sensores. Essa abordagem permite a leitura de múltiplos sensores *LDR* utilizando menos canais analógicos, além de contribuir para uma melhor organização do sistema. A multiplexação torna o processo de aquisição de dados mais eficiente e proporciona maior precisão e confiabilidade nas medições realizadas.

### 3.1 Funções dos componentes

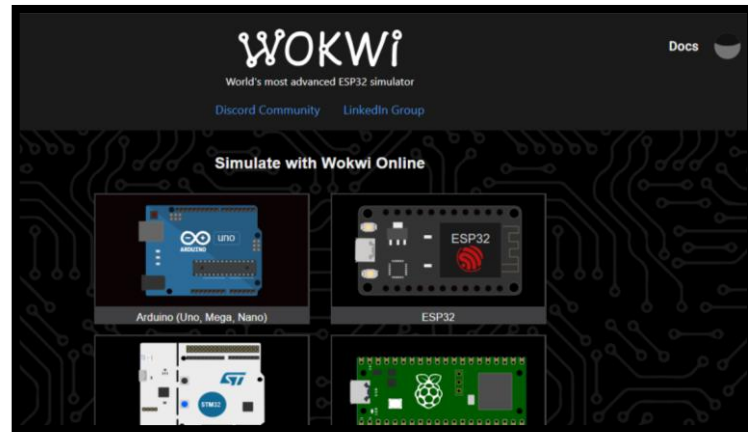
Foi desenvolvido um suporte para alocar os 2 faróis lado a lado, afim de realizar a comparação da intensidade luminosa. Na figura 18, é possível visualizar o suporte dos faróis.

Figura 18 – Suporte dos faróis



O *Wokwi* é um ambiente de simulação online, onde o código será testado, nele, podemos ver a simulação completa do sistema; assim, a transição para o teste prático será feita da melhor forma. Na figura 19, vemos uma imagem da tela inicial do *Wokwi*.

Figura 19 - Tela inicial do *Wokwi*



Fonte: Wokwi (2024)

O microcontrolador *Raspberry pi pico* modelo RP2040, será colocado na CPU Fatec e será responsável por acionar os sensores *LDR* para realizar as medições da intensidade luminosa dos faróis. Na figura 20, podemos ver o *Raspberry pi pico*.

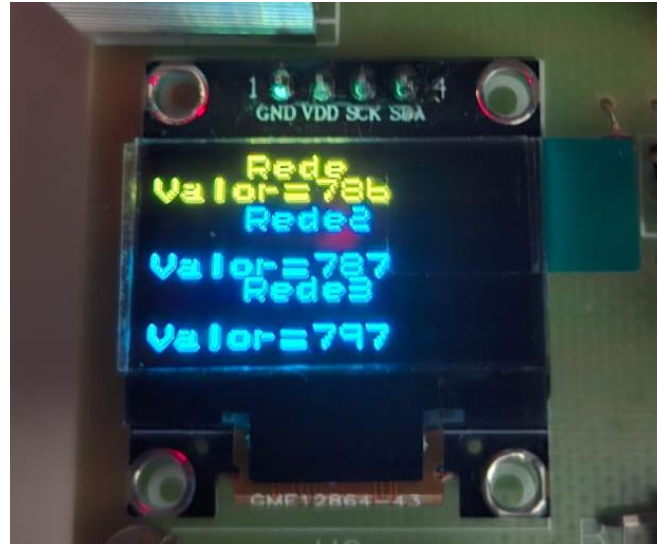
Figura 20 - *Raspberry pi pico*



Fonte: Autoria própria (2025)

O *display* de *OLED* modelo *ssd1306*, vai permitir visualizar os dados medidos dos sensores *LDR*, para que as análises sejam feitas. Na figura 21, podemos visualizar o *display OLED*.

Figura 21 - *display* de *OLED*



Fonte: Autoria própria (2025)

*LDR* também é conhecido como resistor variável conforme a luz. Irá mostrar o valor da intensidade luminosa medida no *display OLED*, o modelo usado no trabalho é o *SL7MM*, com o diâmetro de 7 mm. Podemos visualizar o *LDR* na figura 22.

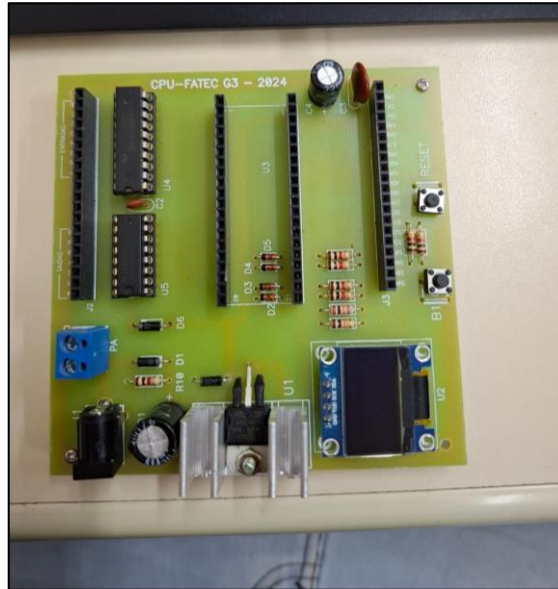
Figura 22 - *LDR*



Fonte: Autoria própria (2025)

CPU Fatec G3 é responsável controlar todo o sistema, para que as análises sejam feitas. Podemos visualizar a CPU Fatec na figura 23.

Figura 23 - CPU Fatec G3



Fonte: Aatoria própria (2025)

O farol utilizado nos ensaios é um farol de milha, modelo *Fun 112*, da marca *Suits*, equipado com lente de vidro, conforme ilustrado na Figura 24.

Figura 24 – Farol de milha

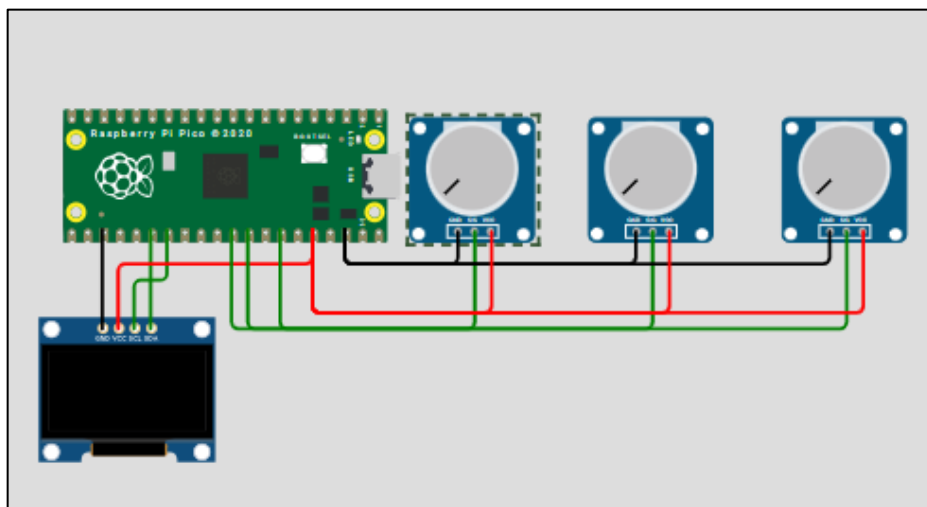


Fonte: Aatoria própria (2025)

Para os testes práticos, foram realizadas simulações no site *Wokwi*, utilizando três potenciômetros, que enviavam sinais analógicos ao *Raspberry Pi*. Dessa forma, foi possível obter uma base para a forma como funcionará a rede de sensores LDR. No apêndice B será possível ver o código utilizado para a realização do trabalho.

Na Figura 25 é apresentada a montagem do circuito no ambiente de simulação *Wokwi*. Após a realização das simulações online, foi feita a montagem do sistema em uma protoboard.

Figura 25 – Simulação no *Wokwi*



Fonte: Autoria própria (2025)

Para a realização dos testes, foi utilizado um guia deslizante, conforme apresentado na Figura 26, o qual possibilitou o deslocamento seguindo um movimento horizontal, o guia possui as seguintes dimensões: largura de 50 mm, comprimento de 400 mm e altura de 20 mm. O material empregado em sua fabricação foi uma cantoneira metálica. Para melhor visualização, um desenho técnico com os respectivos dimensionais encontra-se apresentado no Apêndice C.

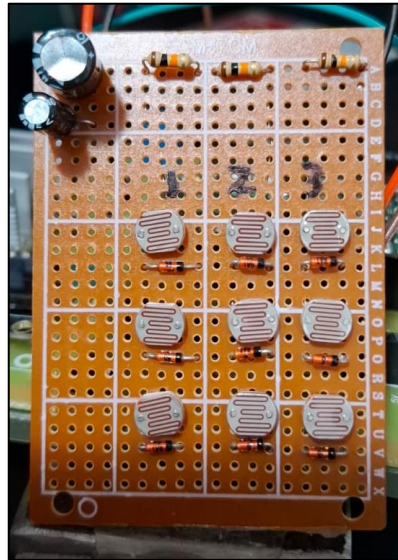
Figura 26 – Guia deslizante



Fonte: Autoria própria (2025)

Utilizando uma placa padrão 5x7 foi montado a rede de sensores, como podemos ver na figura 27, os sensores posicionados lado a lado.

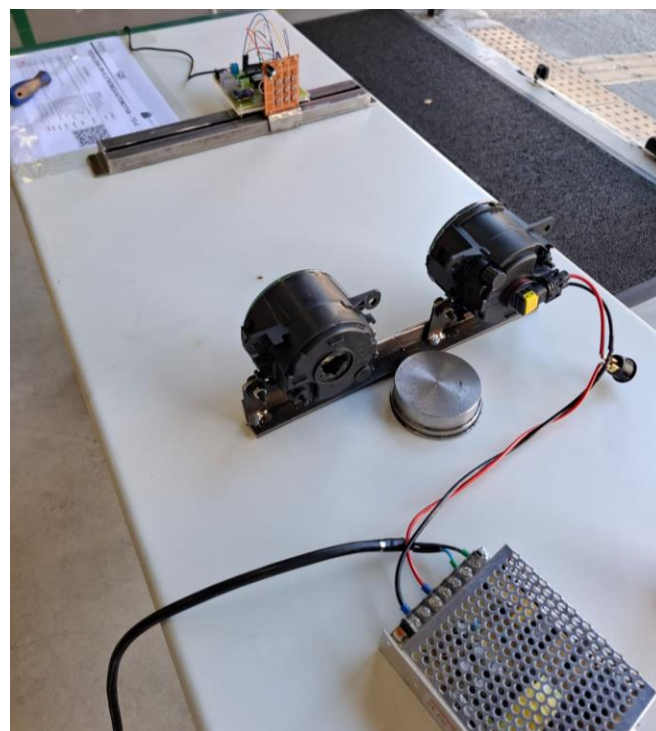
Figura 27 – Rede de sensores



Fonte: A autoria própria (2025)

Podemos visualizar a montagem da rede de sensores em frente aos faróis, na figura 28. Dessa forma, é realizado os testes para a coleta dos valores, que aparecem no display.

Figura 28 – Montagem do trabalho



Fonte: A autoria própria (2025)

#### 4. RESULTADOS

Após a montagem do circuito na placa padrão, foram realizados os testes com os faróis, coletando as informações diretamente por meio do *display OLED*. Os valores apresentados no *display* correspondem à conversão da tensão aplicada à entrada analógica do *Raspberry Pi Pico* em um valor adimensional, que varia de 0 a 4095. Essa representação ocorre devido ao funcionamento do conversor analógico-digital (CAD) presente no microcontrolador, que transforma o sinal analógico de tensão em um valor digital proporcional, de acordo com sua resolução.

Com os valores apresentados no *display*, foram realizados testes utilizando um luxímetro, com o objetivo de estabelecer uma correlação entre as leituras do sistema desenvolvido e a unidade de medida lux. Para isso, utilizou-se uma fonte de bancada, e a placa contendo a rede de sensores foi posicionada em frente ao farol. As medições foram registradas a cada 5 segundos, a tensão de alimentação do farol foi variada de 8 V até 14 V. Após essa etapa, a placa de sensores foi retirada e, em seu lugar, posicionou-se o luxímetro para a coleta das medições nas mesmas condições. Dessa forma, foi possível comparar os valores obtidos pelo sistema com aqueles medidos diretamente em lux. Com os dados coletados, elaborou-se uma tabela e um gráfico que permitiu visualizar e analisar a correlação entre as leituras do *display* e a unidade de medida lux.

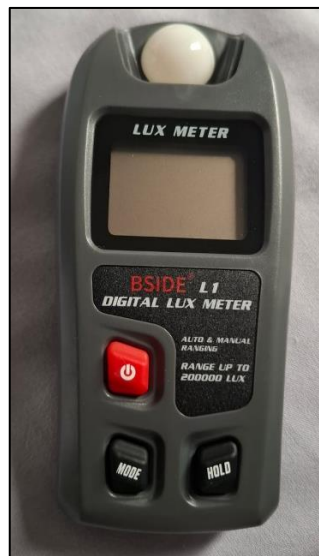
No dia 15/12/2025, às 18h35, foram realizados os testes para a elaboração da tabela de correlação entre as leituras da rede de sensores e a unidade de medida lux. O procedimento foi conduzido utilizando um luxímetro e a placa contendo a rede de sensores *LDR*, considerando apenas a leitura do sensor central da placa. Inicialmente, os valores foram registrados por meio dos valores mostrados no *display*, em seguida, sob as mesmas condições experimentais, o luxímetro foi posicionado à frente do farol para a coleta dos dados correspondentes.

Os ensaios ocorreram no laboratório da sala 9 da FATEC Santo André. Às 18h40, com as luzes do ambiente desligadas e as cortinas fechadas, o luxímetro registrou um valor de 1,6 lux. Esse valor foi considerado como um *offset*, sendo posteriormente descontado das medições realizadas com o farol ligado ao preencher a tabela de resultados.

Posteriormente, às 19h05, com o cair da noite e mantendo-se as mesmas condições do ambiente, o luxímetro passou a registrar 0 lux. A partir desse momento, as medições realizadas com o farol ligado não necessitaram de correção por *offset*, uma vez que não houve interferência luminosa externa no ambiente de testes.

Podemos ver o luxímetro modelo MT-30 digital na figura 29, tendo uma faixa para medições de 0 à 200.000 lux.

Figura 29 – Luxímetro



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 30, observa-se o luxímetro registrando o valor de *offset*.

Figura 30 – Valor de *Offset*



Fonte: Autoria própria (2025)

Na Figura 31, é apresentado o momento em que o luxímetro indica 0 lux, evidenciando a ausência de interferência luminosa externa no local de ensaio.

Figura 31 – Valor 0 lux



Fonte: Autoria própria (2025)

Vemos na figura 32 como foi realizado os testes, no laboratório.

Figura 32 – Teste de calibração



Fonte: Autoria própria (2025)

Na figura 33 vemos a tabela com os dados coletados do teste de calibração. Que também pode ser consultada de forma ampliada no apêndice D.

Figura 33 – Tabela de correlação

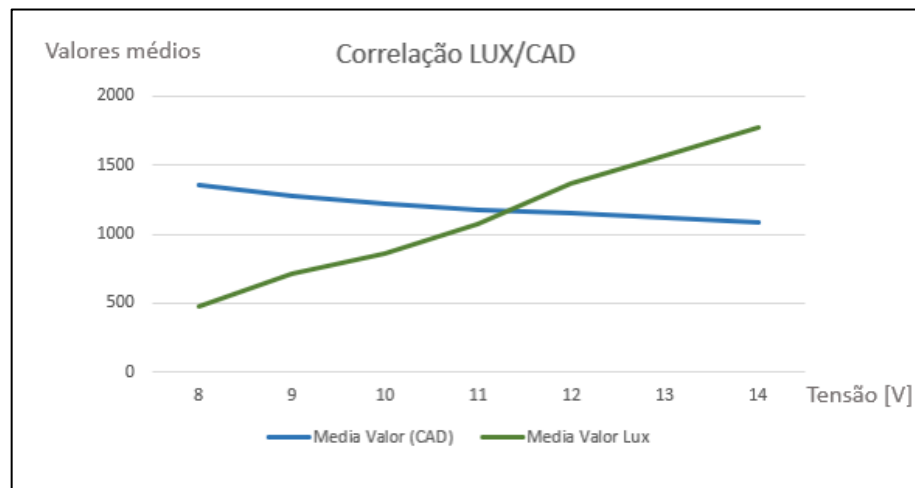
Correlação Valor (CAD) x LUX									
Tensão (V)	Valor (CAD)	Media Valor (CAD)	Desvio Padrão valor (CAD)	LUX - Offset	Media Valor (LUX-Offset)	Desvio Padrão valor (LUX-Offset)	LUX (Sem Offset)	Media Valor (Sem Offset)	Desvio Padrão valor (Sem Offset)
8	1355	1356	1.09	503.4	504.4	0.63	473	475	1
	1356			504.4			474		
	1357			504.4			475		
	1356			504.4			475		
	1355			505.4			475		
9	1272	1272	1.09	685.4	687.4	1	712	713	0.63
	1273			686.4			713		
	1272			687.4			713		
	1270			687.4			713		
	1273			687.4			714		
10	1217	1217	0.63	874.4	875.4	0.77	856	856	0.63
	1216			874.4			856		
	1217			875.4			856		
	1218			875.4			857		
	1217			876.4			857		
11	1180	1180	0.2	1063.4	1063.4	0.63	1075	1076	0.44
	1180			1064.4			1076		
	1181			1063.4			1076		
	1180			1063.4			1076		
	1180			1064.4			1076		
12	1163	1156	3.34	1329.4	1331.4	1.09	1369	1368	1.09
	1155			1330.4			1368		
	1155			1331.4			1368		
	1155			1331.4			1366		
	1154			1332.4			1367		
13	1115	1116	1.09	1565.4	1565.4	0.63	1566	1567	1.09
	1116			1566.4			1567		
	1115			1564.4			1567		
	1116			1565.4			1568		
	1116			1565.4			1569		
14	1080	1081	1.09	1776.4	1776.4	0.63	1777	1778	1.58
	1081			1775.4			1778		
	1080			1777.4			1778		
	1081			1776.4			1779		
	1081			1776.4			1781		

Fonte: Autoria própria (2025)

A partir dos dados apresentados na figura 33, foi elaborado um gráfico com os valores médios do conversor AD e das medições realizadas pelo luxímetro, que possibilitou a visualização da correlação entre os valores que aparecem no *display OLED* e os valores em lux.

Na figura 34 é possível a visualização do gráfico.

Figura 34 – Gráfico da correlação



Fonte: Autoria própria (2025)

O gráfico mostra uma correlação negativa entre os valores CAD e os valores em Lux, para alterar isso, pode ser criado uma função no código para tornar uma correlação positiva. Onde ambos sobem e descem juntos.

Nesta etapa de testes, também foram realizadas medições de tensão em cada sensor LDR quando a luz incidiu sobre a rede de sensores, tanto na condição de farol seco quanto na de farol úmido. A partir dessas medições, foi elaborada uma tabela.

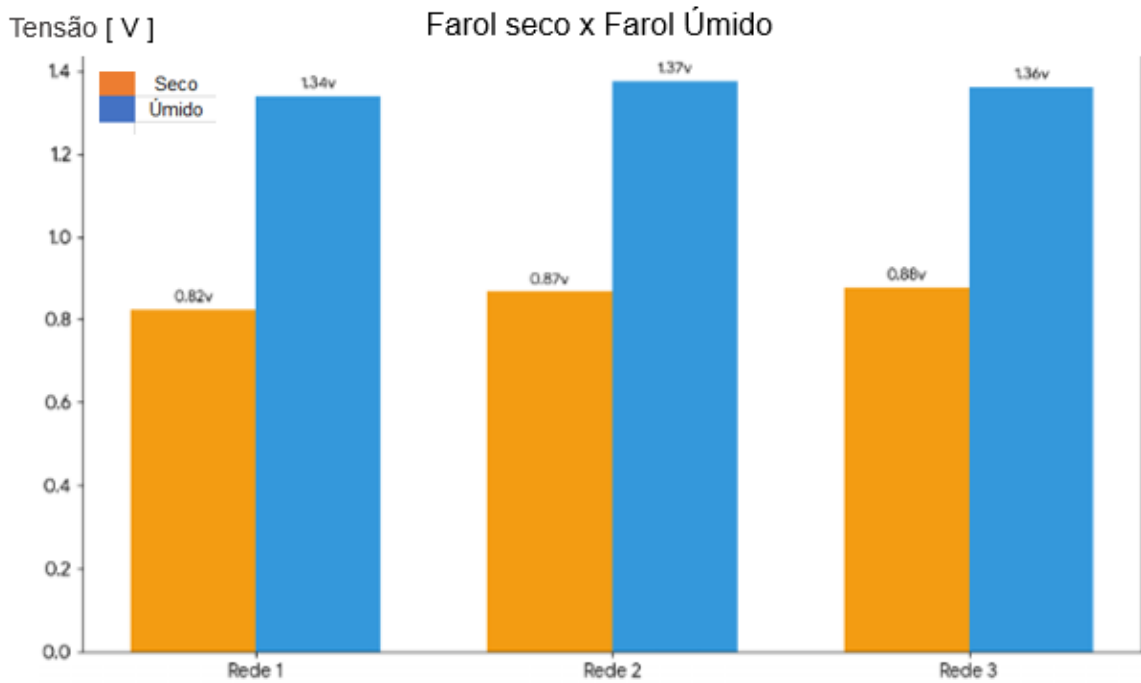
#### Farol seco

Rede 1	Rede 2	Rede 3
0,80 v	0,88 v	0,90 v
0,85 v	0,87 v	0,85 v
0,82 v	0,85 v	0,88 v

#### Farol Úmido

Rede 1	Rede 2	Rede 3
1,30 v	1,35 v	1,35 v
1,35 v	1,37 v	1,35 v
1,36 v	1,40 v	1,38 v

Também foi feito um gráfico com os valores médios, com o objetivo de facilitar a visualização e a análise comparativa dos resultados.



Fonte: Autoria própria (2025)

A partir dos dados apresentados no *display OLED*, foi elaborada uma tabela que possibilitou a plotagem de um gráfico, tornando a análise dos resultados mais clara, dinâmica e visual.

Estes foram os valores coletados do *display OLED*.

Valor digital do CAD [bits] (Seco)

Rede 1	Rede 2	Rede 3
1090	1080	1040
1778 Lux	1777 Lux	1779 Lux

Valor digital do CAD [bits] (Úmido)

Rede 1	Rede 2	Rede 3
1350	1300	1340
470 Lux	474 Lux	472 Lux

### Variação Percentual (Úmido x Seco)

Rede 1	Rede 2	Rede 3
26,43%	26,67%	26,53%

As porcentagens apresentadas demonstram de forma quantitativa a queda de desempenho luminoso do farol quando submetido à condição de umidade, em comparação com a condição seca. Para evidenciar numericamente o impacto da umidade na iluminação do farol, foi realizado o cálculo da variação percentual da eficiência luminosa, utilizando os valores medidos em lux para o farol seco e para o farol úmido. O cálculo foi efetuado a partir da expressão  $\%Lux = (Lux\_úmido / Lux\_seco) \times 100$ .

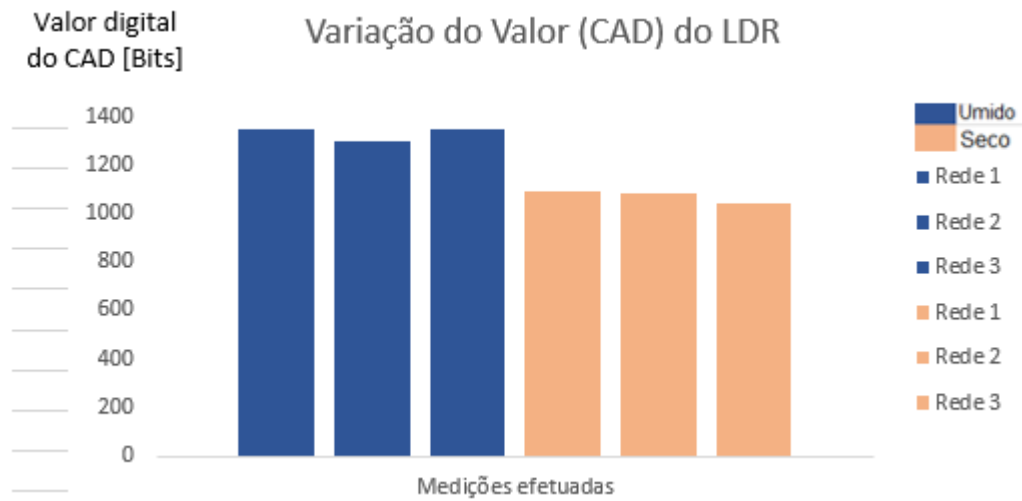
Os resultados obtidos indicam perdas semelhantes entre as três redes de sensores, sendo aproximadamente 26,43% para a Rede 1, 26,67% para a Rede 2 e 26,53% para a Rede 3. Essa proximidade entre os valores evidencia um comportamento consistente do sistema de iluminação frente à presença de umidade, indicando que o fenômeno afeta de maneira uniforme a distribuição luminosa do farol. Dessa forma, os dados confirmam que a umidade influencia significativamente a redução da eficiência luminosa, impactando diretamente a intensidade da iluminação, o que pode comprometer a visibilidade e a segurança em condições reais de uso.

Esta queda de eficiência luminosa pode comprometer a visibilidade, impactando diretamente a segurança do condutor. Mesmo pequenas camadas de umidade podem reduzir drasticamente a capacidade de iluminação da via.

A proximidade dos valores percentuais entre as redes reforça a confiabilidade do método de medição, do posicionamento dos sensores LDR e do procedimento adotado durante os ensaios. Isso sugere que as diferenças observadas são de fato causadas pela condição do farol (seco ou úmido).

O gráfico comparando as variações dos valores CAD, pode ser observado na Figura 35.

Figura 35 – Gráfico



Fonte: Autoria própria (2025)

Nesta tabela, o presente trabalho é incluído na comparação com os três estudos utilizados como referência, destacando-se os objetivos de cada pesquisa, a metodologia empregada e os principais resultados obtidos.

**Tabela comparativa com os textos encontrados**

//	<b>Comparação faróis convencionais e faróis de Led Martins (2005)</b>	<b>Determinação do percentual de umidade em peças de poliestireno expandido Carmo (2020)</b>	<b>Protótipo de análise de umidade e temperatura Kogos (2021)</b>	<b>Efeito da umidade na iluminação de faróis automotivos Luciano (2025)</b>
<b>O que foi realizado</b>	Um estudo comparando lâmpadas halógenas e lâmpadas led	Teve o objetivo de desenvolver e avaliar experimentalmente a utilização de um novo sistema de detecção de umidade residual	O estudo e desenvolvimento de um protótipo para medir e analisar temperatura e umidade em ambiente fechado.	Um sistema que monitore a intensidade luminosa em faróis automotivos
<b>Como</b>	Estudo laboratoriais para realizar a comparação e analisar os desempenhos	Foi proposta a utilização de um método que possibilite calcular o percentual de umidade, baseando-se na resistência elétrica das peças	Projetando um hardware para a medição de temperatura e umidade, implementou um banco de dados que armazenou e analisou os dados de temperatura e umidade	Utilizando uma rede de sensores LDR, serão comparados 2 faróis: um completamente seco e outro umidificado internamente, dessa forma, vai ser possível detectar uma queda na intensidade luminosa
<b>Resultados</b>	Os leds têm uma vantagem sobre as lâmpadas halógenas, porém devido ao seu custo e dissipação de calor acaba sendo uma barreira à fabricação de faróis led	Com o artigo foi possível calcular a umidade residual absoluta das peças de forma rápida, também determinar uma resistência a compressão de maneira não destrutiva	Analisou as informações de umidade e temperatura, armazenando em nuvem de maneira organizada e clara	Com os resultados obtidos, foi possível ver a diferença na iluminação entre um farol seco e um úmido

Fonte: Autoria própria (2025)

## 5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho permitiu comprovar, de forma prática e experimental, que a umidade interna em faróis automotivos compromete a eficiência luminosa do veículo. Por meio da rede de sensores LDR e do microcontrolador *Raspberry Pi Pico*, os testes demonstraram uma queda nítida na intensidade de luz percebida, o que eleva os riscos à segurança ao reduzir a visibilidade do condutor e a percepção do veículo por terceiros.

A combinação de simulações no ambiente *Wokwi* com testes práticos provou ser uma abordagem de baixo custo e alta viabilidade para o monitoramento contínuo de variações luminosas. A correlação estabelecida entre os valores digitais (CAD) e a unidade de medida Lux permitiu validar que o sistema é capaz de detectar variações sutis no desempenho do conjunto óptico, evidenciando que a presença de umidade altera o desempenho do farol.

Os resultados reforçam a necessidade uma vedação adequada e de manutenção preventiva nos faróis, visando preservar a vida útil dos componentes e a segurança operacional do automóvel. Dessa forma, o sistema desenvolvido atingiu os objetivos propostos, contribuindo como uma ferramenta funcional para a análise do impacto em sistemas automotivos e servindo como base para futuras implementações, como sistemas de alerta em tempo real para o condutor.

### 5.1 Propostas futuras

- Implementação de sensores dedicados à detecção direta de umidade como o sensor DHT, para quantificar a quantidade de água que afeta a iluminação.
- Notificações automáticas ao motorista.
- Utilização de uma caixa, para reduzir a interferência externa, que seria a luz do dia, pois dificulta a visualização da diferença entre as iluminações do farol seco x úmido.
- Incrementar uma função no código para tornar a correlação Valor CAD x Lux positiva.
- Com os resultados numéricos foi criado uma base sólida para comparações futuras, como testes com diferentes níveis de umidade, tipos de lentes de farol, tecnologias de iluminação (LED, xenon) ou até análises em diferentes distâncias.

## 6. REFERÊNCIAS

Carmo, E.A.P. Determinação do percentual de umidade em peças de poliestireno expandido pelo teste da resistência elétrica / Carmo, E.A.P. Santa Catarina, 2020.

Datasheet, Raspberry Pi Ltd. Disponível <<https://datasheets.raspberrypi.com/pico/pico-datasheet.pdf>> Acesso em 3 de novembro 2024.

Kogos, T.K. Protótipo para monitorar e analisar temperatura e umidade / Kogos, T.K. Ponta Grossa, 2021.

Martins, E.R. Comparação entre o desempenho de faróis automotivos convencionais e aqueles que empregam diodos emissores de luz / Martins, E.R. – São Paulo, 2005.

Osram. 2024. Disponível em: <<https://loja.osram.com.br/produtos/kit-led-night-breaker-cross-h4-osram-64193cw-nbc-potencia-27w-tensao-12v-3-anos-de-garantia-6000k-branca-azulada/>> Acesso em 10 de novembro 2024.

Osram. 2024. Disponível em: <<https://loja.osram.com.br/produtos/lampada-h4-osram-ultra-life/>> Acesso em 10 novembro 2024.

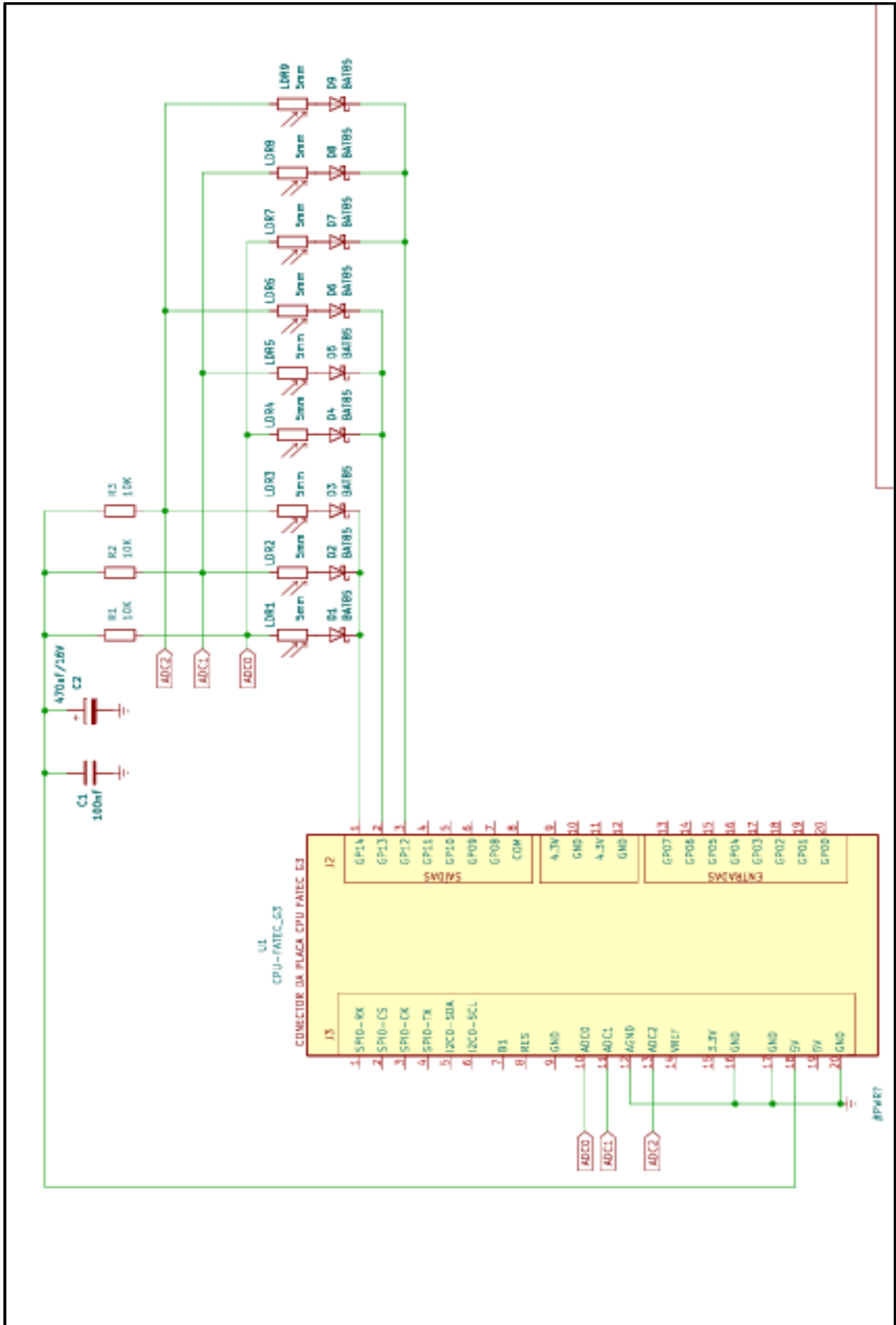
Osram. 2024. Disponível em: <<https://loja.osram.com.br/produtos/lampada-xenon-d3s-osram-xenarc-original/>> Acesso em 10 de novembro 2024.

Toyota, A.S. Estudo da viabilidade na implantação do sistema DRL (DAYTIME RUNNING LIGHT) nos veículos automotores no Brasil / Toyota, A.S. São Caetano do Sul, 2013.

Wokwi. 2024. Disponível em: <<https://wokwi.com/>>. Acesso em 10 de novembro 2024.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – ESQUEMA ELÉTRICO



## APÊNDICE B – CÓDIGO DO WOKWI

```
#include <stdio.h>
#include "pico/stdlib.h"
#include "hardware/adc.h"
#include "ssd1306.h"

#define Rede 14
#define Rede2 13
#define Rede3 12

uint8_t display_buffer[128 * SSD1306_HEIGHT / 8] = {0};

int main() {

    gpio_init(Rede);
    gpio_set_dir(Rede, GPIO_OUT);

    gpio_init(Rede2);
    gpio_set_dir(Rede2, GPIO_OUT);

    gpio_init(Rede3);
    gpio_set_dir(Rede3, GPIO_OUT);

    uint32_t adc_value = 0;
    uint32_t adc_value2 = 0;
    uint32_t adc_value3 = 0;

    SSD1306_init();
    ssd1306_clear_buffer(display_buffer);
    ssd1306_send_data(display_buffer, 128 * SSD1306_HEIGHT / 8);
    sleep_ms(500);

    ssd1306_write_text(display_buffer, 32, 0, "Rede");
```

```
ssd1306_write_text(display_buffer, 0, 8, "Valor=");

ssd1306_write_text(display_buffer, 32, 22, "Rede2");
ssd1306_write_text(display_buffer, 0, 32, "Valor=");

ssd1306_write_text(display_buffer, 32, 40, "Rede3");
ssd1306_write_text(display_buffer, 0, 56, "Valor=");

ssd1306_send_data(display_buffer, 128 * SSD1306_HEIGHT / 8);

// --- Inicializa o ADC ---
adc_init();

// Habilita os pinos ADC correspondentes
adc_gpio_init(26); // ADC0
adc_gpio_init(27); // ADC1
adc_gpio_init(28); // ADC2

while (true) {

    gpio_put(Rede, 1);
    gpio_put(Rede2, 1);
    gpio_put(Rede3, 1);

    adc_select_input(0);
    adc_value = adc_read(); // Lê GPIO26 (ADC0)

    adc_select_input(1);
    adc_value2 = adc_read(); // Lê GPIO27 (ADC1)

    adc_select_input(2);
    adc_value3 = adc_read(); // Lê GPIO28 (ADC2)
```

```
// --- Atualiza o display ---  
    ssd1306_write_text(display_buffer, 56, 8, "      ");  
    ssd1306_int_number(display_buffer, 56, 8, adc_value, 8);  
  
    ssd1306_write_text(display_buffer, 56, 32, "      ");  
    ssd1306_int_number(display_buffer, 56, 32, adc_value2, 8);  
  
    ssd1306_write_text(display_buffer, 56, 56, "      ");  
    ssd1306_int_number(display_buffer, 56, 56, adc_value3, 8);  
  
    ssd1306_send_data(display_buffer, 128 * SSD1306_HEIGHT / 8);  
  
    sleep_ms(200); // Atualiza 5 vezes por segundo  
  }  
}
```

### APÊNDICE C – DESENHO DO GUIA

