



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

LAISE DIAS SILVEIRA

**VALIDAÇÃO DE COLORÍMETRO RGB (RED-GREEN-
BLUE) COM ESPECTROFOTOMETRIA DE ÓLEO
LUBRIFICANTE**

CRUZ DAS ALMAS-BA

2023

LAISE DIAS SILVEIRA

VALIDAÇÃO DE COLORÍMETRO RGB (RED-GREEN-BLUE) COM ESPECTROFOTOMETRIA DE ÓLEO LUBRIFICANTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Vânio Vicente Santos de Souza. Co-Orientador: Prof. Esp. Edilberto Andrade Silva.

CRUZ DAS ALMAS-BA

2023

LAISE DIAS SILVEIRA

VALIDAÇÃO DE COLORÍMETRO RGB(RED-GREEN-BLUE) COM ESPECTROFOTOMETRIA DE ÓLEO LUBRIFICANTE

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do discente **LAISE DIAS SILVEIRA**, apresentado à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharela em Engenharia Mecânica.

Aprovado(a) em, de de 2023.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Profº Me. Vânio Vicente Santos de Souza - UFRB
Orientador

Profº Esp. Edilberto Andrade Silva - UFRB
Co-Orientador

Profº. Dra. Jânia Betânia Alves da Silva - UFRB
Examinador 01

Profº. Dr. Sivanildo da Silva Borges - UFRB
Examinador 02

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida e pela fé que me fez chegar até aqui e a Nossa Senhora por sempre interceder nos momentos no quais pensei em desistir.

Aos meus pais, por serem exemplos de honestidade, pelo amor, pelas orações e apoio. Obrigada por confiarem em mim e estarem sempre presentes nessa jornada árdua.

À minha irmã, que sempre se faz presente, do jeito dela, para me apoiar e me aconselhar.

À minhas avós, tias e tios, primos e primas pelo o apoio e carinho. Gratidão por sempre estarem presentes em minha vida.

A todos, meu muito obrigado. Amo vocês!

Ao meu orientador e co-orientador, Vânio Vicente e Edilberto Andrade, pelo apoio, conhecimento, dedicação e por todos os suportes para que essa monografia se tornasse uma realidade.

À Helen, pelo apoio, conselhos, incentivos, ajudas com o desenvolvimento do colorímetro e pôr está presente na minha vida. Minha eterna gratidão!

Gratidão aos meus amigos de Salvador, Fernanda, Evelyn, Alessandra, Arthur, Emerson, Laís e em especial a meu amigo de infância José Neto, pôr está sempre presente na minha vida e por ser um amigo de todas as horas. Amo vocês!

Aos meus amigos que fiz durante a graduação e em Cruz da Almas, que compartilharam dos inúmeros desafios que enfrentamos, das noites de estudos, dos momentos de diversão, entre outros. Minha eterna gratidão a Paulo Victor, Thaianna, Jaílton, Amanda, Janaína, Henrique, Priscila, Laura, Andressa, Luiza e em especial Tatiane e Vanessa, por serem minha família em Cruz e por compartilharmos vários momentos inesquecíveis. Vocês estarão sempre no meu coração.

E a todos os mestres que contribuíram com a minha formação acadêmica e profissional durante a minha vida.

*“A fé em Deus nos faz crer no incrível,
ver o invisível e realizar o impossível.”*

Autor Desconhecido

RESUMO

No presente trabalho foi explorada a teoria da espectrofotometria com o objetivo de construção de um colorímetro RGB (RED, GREEN, BLUE) para avaliar amostras de alguns óleos lubrificantes. A técnica consiste na utilização do sensor TCS3200 controlado por um Arduino UNO, que envia e recebe informações através de *software* em linguagem C++ e imprime as cores em R (*red*), G (*green*) e B (*blue*) no computador. A utilidade de um sensor RGB consiste em iluminar e detectar a radiação eletromagnética refletida pela amostra. Esses resultados podem ajudar a validar o colorímetro RGB e compreender se o óleo lubrificante está apto ou não para troca. As amostras foram coletadas em quatro tipos de motocicletas, Biz 125, Pop 100, Titan 150 e Fazer 150. A seleção das amostras levou em consideração o óleo já presente nas motocicletas o qual foi denominado de troca zero. Para este trabalho, além da troca zero, foram utilizadas apenas a troca dois (por apresentar a menor concentração de ferro) e a troca quatro (por ter a maior concentração de ferro). Foi realizado um estudo comparativo entre as concentrações de metais obtidas anteriormente com Espectrometria com Plasma Induzido por Micro-ondas e com os dados oriundos da presente proposta. Observou-se um aumento nos teores de vários metais em relação ao óleo original. Nas amostras de troca zero foi denominada a quilometragem 0 km devido ao óleo lubrificante está presente nas motocicletas antes das trocas. Esta apresentou a coloração em RGB de (217,200,205) e (223,213,186), na troca dois a quilometragem variou 500 km e o RGB encontrado foi de (223,202,198) e amostra da troca quatro teve sua quilometragem variada de 550 km e obtivemos o RGB de (224,199,198) e (226,213,183). Através dessa comparação, pode ser previsto o tempo para uma eventual troca do óleo lubrificante, além de garantir um bom funcionamento dos componentes internos dos motores, auxiliando o monitoramento como diagnóstico preditivo para realização da manutenção.

Palavras-chave: Colorímetro; Óleo lubrificante; RGB; Luz.

ABSTRACT

In the present work, the theory of spectrophotometry was explored with the objective of building an RGB (RED, GREEN, BLUE) colorimeter to evaluate samples of some lubricating oils. The technique consists of using the TCS3200 sensor controlled by an Arduino UNO, which sends and receives information through software in C++ language and prints the colors in R (red), G (green) and B (blue) on the computer. The utility of an RGB sensor consists in illuminating and detecting the electromagnetic radiation reflected by the sample. These results can help validate the RGB colorimeter and understand whether the lubricating oil is suitable for change or not. The samples were collected from four types of motorcycles, Biz 125, Pop 100, Titan 150 and Fazer 150. The selection of samples took into account the oil already presents in the motorcycles, which was called zero change. For this work, in addition to exchange zero, only exchange two (because it has the lowest iron concentration) and exchange four (because it has the highest iron concentration) were used. A comparative study was carried out between the concentrations of metals previously obtained with Microwave Induced Plasma Spectrometry and with data from the present proposal. There was an increase in the contents of several metals in relation to the original oil. In the zero change samples, the mileage was called 0 km due to the lubricating oil present in the motorcycles before the changes. This presented the color in RGB of (217,200,205) and (223,213,186), in exchange two the mileage varied 500 km and the RGB found was (223,202,198) and sample of exchange four had its mileage varied by 550 km and we obtained the RGB of (224,199,198) and (226,213,183). Through this comparison, the time for a possible lubricating oil change can be predicted, in addition to ensuring the proper functioning of the internal components of the engines, helping monitoring as a predictive diagnosis for carrying out maintenance.

Keywords: Colorimeter; Lubricating oils; RGB; light.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Absorção da Luz.	17
Figura 2: LED RGB.	19
Figura 3: Simbologia do anodo comum e catodo comum.	19
Figura 4: Círculos cromáticos RGB.	20
Figura 5: Regiões do espectro eletromagnético.	22
Figura 6: Sustentação do plasma gerado por micro-ondas.	24
Figura 7: Sistema de classificação do óleo lubrificante.	26
Figura 8: Fluxograma das etapas.	29
Figura 9: Vista explodida do colorímetro.	30
Figura 10: Arduino UNO.	31
Figura 11: Sensor TCS3200 e encapsulamento do chip e os fotodiodos.	32
Figura 12: Diagrama de bloco do sensor TCS3200.	33
Figura 13: Circuito Sensor TCS3200 e Arduino UNO.	34
Figura 14: Amostras do óleo lubrificante.	35
Figura 15: Esquema do estudo.	36
Figura 16: Gráfico trifásico e ampliação, troca zero.	38
Figura 17: Gráfico trifásico e ampliação, troca dois.	38
Figura 18: Gráfico trifásico e ampliação, troca quatro.	39
Figura 19: Concentração de metais em relação à quilometragem (km).	39
Figura 20: Concentração de zinco em relação à quilometragem (km).	40
Figura 21: Concentração de alumínio em relação à quilometragem(km).	41
Figura 22: Agrupamento usando K-Means (2 clusters).	42
Figura 23: Agrupamento usando K-Means (1 clusters).	42
Figura 24: Agrupamento usando K-Means (2 clusters).	43
Figura 25: Diagrama trifásico do k-means e ampliação.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:Diferentes metais encontrados no óleo lubrificante e a possível origem.	27
Tabela 2: Configuração da escala da frequência de saída (fo).	33
Tabela 3: Configuração dos filtros de cor do sensor.	33
Tabela 4:Concentração de metais ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) em função a quilometragem (km).	35
Tabela 5: Pontos do k-means.....	43
Tabela 6: Novos valores RGB.	45

LISTA DE SIGLAS

API	American Petroleum Institute.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
CMOS	Complementary metal-oxide-semiconductor.
ICP	Espectrometria De Emissão Óptica.
LED	Light Emitter Diode.
OE	Operational Enable.
PWM	Pulse Width Modulation.
RGB	Red Green Blue.
SAE	Society of Automotive Engineers.
TAOS	Texas Advanced Optoelectronic Solutions.
UV	Ultravioleta.
VIS	Visível.

LISTA DE SÍMBOLOS

A - Absorvância

α - Inclinação da angular da reta,

b - Espessura da solução ou caminho óptico

C - Concentração

ϵ - Absortividade molar

f_0 - Frequência de Saída

I_0 - Feixe de luz incidente

I - Feixe de luz transmitido

γ - Caminho óptico

λ - Comprimento de onda

$\lambda_{\text{máx}}$ - Intensidade máxima

SUMÁRIO

1. Introdução	14
1.1. Problema de pesquisa.....	15
1.2. Justificativa	15
1.3. Objetivo geral	16
1.4. Objetivos específicos.....	16
1.5. Estrutura da monografia	16
2. Referencial teórico	17
2.1. Conceitos teóricos	20
2.1.1. Manutenção preditiva	20
2.1.2. Espectro eletromagnético	21
2.1.3. Técnicas usadas na análise de óleo lubrificante	23
a) Espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por micro-ondas – MIP-OES.....	24
b) Espectrometria UV- Vis	25
c) Óleo lubrificante.....	25
c.d) Metais encontrados nos óleos lubrificantes.....	27
3. Materiais e Métodos	28
3.1. Fluxograma da Metodologia	29
3.2. Construção do colorímetro RGB.....	29
3.3. Arduino UNO	30
3.4. Módulo Sensor TCS3200	32
3.5. Sistema de coleta de dados	34
3.6. Métodos para coordenadas.....	36
4. Resultados e discussões	37
4.1. K - means	41

4.2.	Determinação das cores nas amostras	43
5.	Conclusões	45
6.	Sugestões de trabalhos futuros	47
7	Referências bibliográficas	48
ANEXOS		55
8	APÊNDICES	69
8.1.	Lei de Lambert - Beer	69

1. Introdução

Os avanços tecnológicos que são apresentados nas últimas décadas vêm crescendo cada vez mais nas áreas da medicina, física, engenharia, telecomunicação, entre outros. Temos que enfatizar o comportamento da luz (radiação eletromagnética), esta é uma das principais ferramentas para o progresso da ciência em geral, levando a descobertas importantes, desde a formulação de teorias sobre suas propriedades até a identificação de muitas espécies químicas. Dessa forma, à medida que a ciência se desenvolve, estudos envolvendo R.E.¹, por outro lado possibilita interações interdisciplinares entre vários ramos da ciência e engenharia (ESPECTROSCOPIA PARA O ENSINO MÉDIO UTILIZANDO A PLACA ARDUINO, 2017).

O primeiro espectrofotômetro foi desenvolvido pelo químico americano Arnold O. Beckman, em 1940, no Laboratório de Tecnologia Nacionais, na empresa Beckman Coulter Inc., fundada em 1935 (P. Christy, 2022).

O espectrofotômetro faz vários tipos de monitoramento levando em consideração a interação da radiação eletromagnética com a matéria. Os estudos mais amplamente conhecidos levam em consideração a leitura da transmitância ou da absorvância. A transmitância é a radiação que não foi absorvida pelo material (as moléculas das soluções, por exemplo) e é detectada após atravessá-lo. Enquanto que a absorvância se refere à quantidade de luz que ficou retida no material (MAZER; GASPAR, 2021).

Um dos métodos mais usados para determinar a concentração de substâncias em solução é por absorvância (SANTOS, 2022). Porém, existem métodos que exploram a reflectância para inferir sobre propriedades físicas ou químicas de uma amostra. (HARRIS, 2008)

Segundo Mendes (2022), o contato da luz com a matéria é decorrente da estrutura química do composto, a espectroscopia de absorção é um modelo que determina se pode ser verificado uma faixa de comprimento de onda em determinado composto.

Diversas técnicas são empregadas para avaliar os teores de metais explorando a radiação eletromagnética tais como a Espectroscopia de Absorção Atômica (AAS),

¹ R.E. – Radiação eletromagnética

Espectroscopia de emissão atômica (AES), plasma induzido por micro-ondas (MIP-AES) e Fluorescência de Raio X (XRF) (LOCKWOOD, 1992).

As técnicas mencionadas apresentam o mesmo conceito básico em comum, estimular os átomos dentro da amostra e, posteriormente, monitorar a radiação eletromagnética da radiação emitida ou absorvida pelos elétrons que transitam entre vários níveis de energia num dado comprimento de onda (MONTEIRO, 2015).

Durante a primeira crise do petróleo na década de 50, devido a suspensão do fornecimento e o aumento repentino do preço do petróleo, a análise no óleo foi uma medida que as empresas tiveram de adotar para avaliar a condição do lubrificante nas máquinas definido a necessidade de troca ou reposição de peças (PETROBRAS, 2023).

A manutenção preditiva está diretamente ligada ao melhoramento contínuo da manutenção de uma máquina, sendo a análise de óleo lubrificante uma de suas ferramentas que garantem a boa qualidade dos componentes internos dos equipamentos (KIMURA, 2010).

Ainda, de acordo com Kimura (2010), a espectrometria surge com uma das técnicas que auxiliam no monitoramento das partículas presentes no lubrificante, sendo uma ferramenta que proporciona o melhor momento para a manutenção do equipamento.

A proposta desse trabalho é a construção de um colorímetro RGB para determinar as cores das concentrações de óleos lubrificantes usados por meio da emissão e absorção da luz.

1.1. Problema de pesquisa

A construção de um colorímetro RGB para análise de amostras de óleos lubrificantes pode medir e quantificar a variação de determinados elementos químicos e comparar com os dados laboratoriais de uma análise espectrometria plasma induzido por micro-ondas.

1.2. Justificativa

A construção de um colorímetro RGB para determinar as cores apresentadas pelas concentrações de elementos químicos das amostras por meio da emissão e absorção da luz. O colorímetro consiste em um sensor TCS3200 que ilumina área a ser analisada, filtra as cores em RGB e envia os dados para um microcontrolador

Arduino UNO. Através dos dados obtidos pôde-se comparar as análises por espectrometria com plasma induzido por micro-ondas e direcionar para uma possível troca do óleo lubrificante sem comprometer os motores.

As alterações significativas nos teores de metais que estão normalmente presentes em óleos lubrificantes após o uso em motores podem revelar desgastes excessivos de peças e alertar para medidas paliativas, incluindo a atenção para a especificidade do lubrificante em função do tempo de vida das máquinas (FERREIRA, 2008 e SILVEIRA, 2010).

O equipamento tem o intuito de uso didático para os docentes e discentes dos cursos de engenharias da UFRB.

1.3. Objetivo geral

Construir um colorímetro RGB capaz de determinar as cores das concentrações de óleo lubrificante mineral 20W50 das amostras.

1.4. Objetivos específicos

- Fazer o levantamento bibliográfico;
- Construir o colorímetro utilizando led RGB e o sensor de cor TCS3200;
- Ensaiar os óleos lubrificantes utilizando o colorímetro RGB;
- Comparar os dados coletados no colorímetro com os teores de íons metálicos.

1.5. Estrutura da monografia

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco partes: introdução, metodologia, resultados e discussões, conclusão e referências bibliográficas. A introdução resulta na contextualização do tema, além dos objetivos gerais, objetivos específicos e a justificativa proposta no trabalho.

Na metodologia, foi apresentado um fluxograma para melhor compreensão do trabalho; a construção do colorímetro RGB para análise em óleo lubrificante, a montagem do sensor TCS3200 no Arduino Uno e a linguagem em C++ no computador para obtenção dos dados nos ensaios e por fim os métodos de cada experimento com comparações experimental e laboratorial.

Nos resultados e discussões, são apresentados os gráficos do espectro de cores de cada amostra do experimento e a discussão comparativa do gráfico em

relação aos metais encontrados nos óleos usados, explicitando os resultados de acordo com a teoria.

Na conclusão são apresentadas as considerações finais do trabalho desenvolvido e as sugestões de trabalhos futuros para melhor análise e otimização do equipamento.

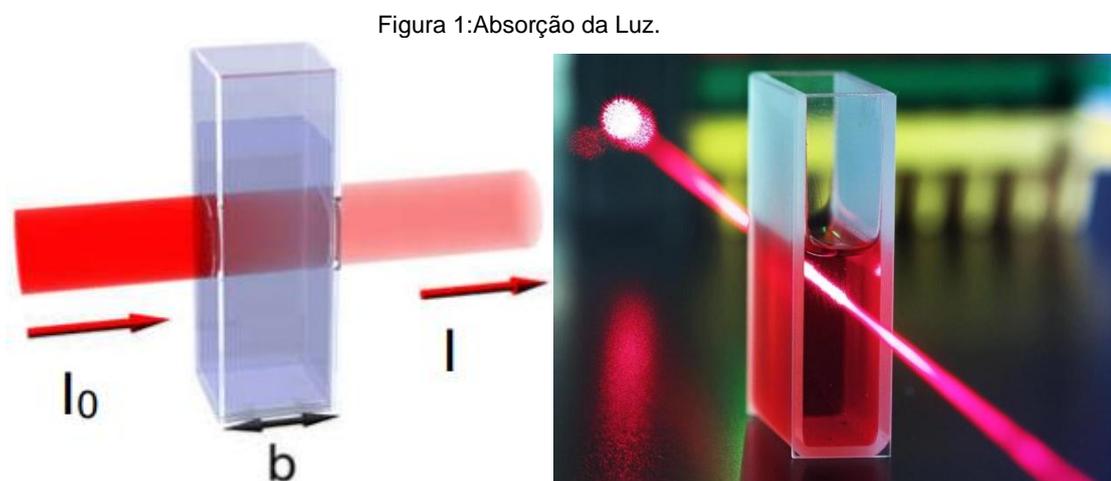
E por fim, na referência bibliográfica encontram-se várias fontes que abordam os temas que foram pertinentes para a elaboração do trabalho.

2. Referencial teórico

A análise espectrofotométrica é uma importante ferramenta multifuncional amplamente utilizada em diversos campos tais como, química, física, biologia, bioquímica, materiais, engenharias, aplicações clínicas e industriais. Ela pode ser usada para medir uma série de componentes presentes nos medicamentos, tintas, alimentos, entre outros.

A espectrofotometria pode ser conceituada como um procedimento analítico com o qual a concentração de uma solução é determinada avaliando-se a absorção de luz. A R.E. pode ser entendida como uma forma de energia ondulatória, caracterizada por diferentes comprimentos de onda (λ) e medidas ao longo de toda a região espectral, resultando em um espectro de luminescência (AZEKA, 2009).

Ainda, de acordo com Azeka (2009), a luz branca ilumina uma solução que após absorção exibe uma cor que é consequência de vários comprimentos de onda que a compõem. Esta absorção, o comprimento de onda é decorrente das propriedades da substância, concentração e da espessura pela qual a luz atravessa, como mostra a Figura 1.



Fonte: Junior, 2017.

Onde:

I_0 = Feixe de luz incidente; I = Feixe de luz transmitido; b = Espessura da solução ou caminho óptico.

Depois que a luz passa pela cubeta (que pode ser de cristal ou de vidro), a luz é medida por um sensor e, em seguida, a resistência é calculada por circuitos eletrônicos. A funcionalidade básica do espectrofotômetro é descrita dependendo da análise, vários métodos diferentes podem ser realizados (PONTES, 2014).

A espectroscopia possui várias técnicas que são empregadas a depender do material e método de medição.

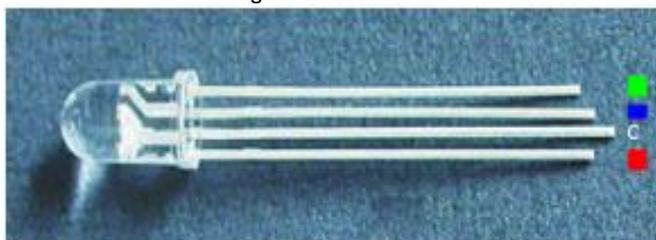
A análise da luz emitida em comprimentos de onda característicos é utilizada para determinar a concentração de cada elemento. O ICP-AES (Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado) é comumente implementado para determinação de metais em óleos lubrificantes. A ASTM D5185 fornece um método padronizado para esta análise. Já a energia eletromagnética que as moléculas absorvem na região do infravermelho corresponde às frequências vibracionais das ligações da molécula. Essa absorção leva a uma amplitude elevada das vibrações da ligação covalente. A espectroscopia infravermelha é uma técnica amplamente utilizada para o trabalho diário, controle de qualidade e interpretação de estruturas moleculares (NUNES FILHOS, 2022).

A espectrofotometria baseada em LED fornece curvas de absorvância adequada quanto a tecnologia baseada em luz branca e prisma (FÜLLGRAF, 2012).

O LED (*Light Emitter Diode*), também conhecido como diodos emissores de luz, contêm uma junção (P-N) quando energizados os diodos emitem luz visível (DEMIAN JUNIOR, 2008). Os materiais semicondutores contêm átomos que possuem quatro elétrons na camada de valência e são materiais que conduzem menos eletricidade do que materiais condutores e a condutividade depende da variação de temperatura (LIMA JUNIOR, 2017).

As luzes LED RGB oferecem a oportunidade de exibir cores usando uma lente em forma esférica com um corpo cilíndrico de epóxi transparente (PONTE, 2014). O LED RGB controla o fluxo luminoso que emite modificando os tons de cores, no qual é composto por 3 LEDs internos e independentes eletricamente como, *Red* – vermelho, *Green* – verde e *Blue* – azul, como mostra a Figura 2 e emite espectro visível em três regiões específicas do comprimento de onda com intensidade máxima ($\lambda_{máx}$), 630 nm (vermelho), 534 nm (verde) e 480 nm (azul) (ARIAS, 2010).

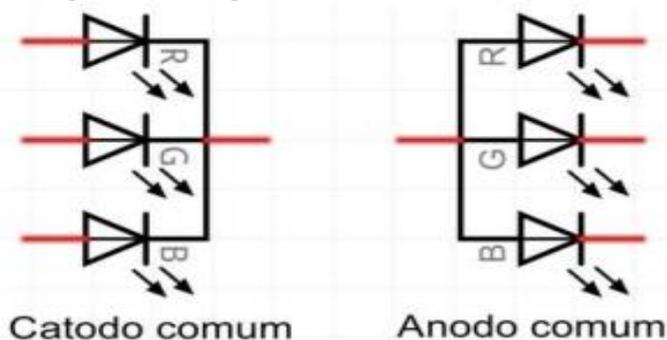
Figura 2: LED RGB.



Fonte: labs.bsoares, 2022.

Eles têm quatro terminais, três dos quais estão conectados a cada LED de cor individual e o quarto, conecta-se a um ponto comum. Portanto, existem duas configurações aceitáveis para esses terminais, onde o primeiro pode ser arranjado com o cátodo comum e o segundo pode ser arranjado com o ânodo Comum, na Figura 3 está representado a simbologia dos LEDs RGB com ânodo comum e cátodo comum (LIMA JUNIOR, 2017).

Figura 3: Simbologia do anodo comum e catodo comum.

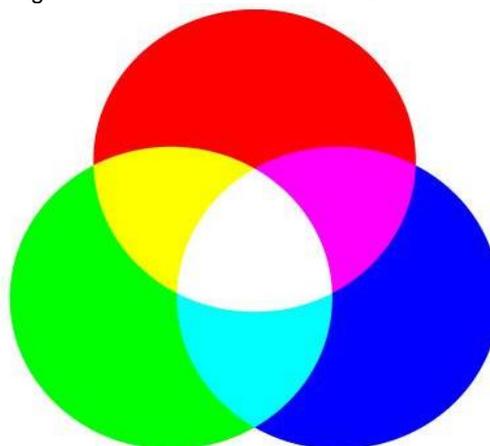


Fonte: Boson treinamentos, 2022.

Ainda de acordo com Lima Junior (2017), temos que, os LEDs com cátodo comum o ânodo controla individualmente as cores do LED. Isso é feito conectando o terminal negativo de cada LED ao GND – também conhecido como terra – através dos cátodos que controla a iluminação. Uma tensão adequada é o suficiente para fazer isso onde é fornecida nos terminais do ânodo.

O padrão de cores RGB ou sistema RGB, é bem conhecido pelo uso de três matizes de cores que emite luz. Como sabemos, o RGB significa Vermelho-Verde-Azul, que é um sistema de cor - luz ou sistema aditivo. Combinando as três cores do RGB nas proporções corretas, atingiremos o branco, de acordo a Figura 4 (FÜLLGRAF, 2012).

Figura 4: Círculos cromáticos RGB.



Fonte: ROCHA, 2010.

As cores combinadas podem ser vistas pelo olho humano no espectro de luz visível, sendo produzidas nas proporções corretas como uma cor primária (ROCHA, 2010).

Segundo Lima Junior (2017), é possível fazer as combinações de cores pela porta existente no Arduino UNO, PWM (*Pulse Width Modulation*), que ajusta a intensidade de brilho de cada LED.

2.1. Conceitos teóricos

2.1.1. Manutenção preditiva

Todo equipamento falha em algum momento de seu ciclo de vida operação, em virtude da vida útil da peça, situação do uso da peça ou erros técnicos. Um grande desafio para a indústria é conseguir identificar essa falha precocemente e prever sua correção. Com isso, são introduzidas no chão de fábrica diferentes programas de manutenção. Geralmente, as formas de manutenção são divididas em três tipos: preventiva, corretiva e preditiva (CARVALHO, 2021).

Mirshawka (1993) baseia-se a manutenção preditiva da seguinte maneira: “a manutenção preditiva é baseada no conhecimento do estado/condição de um item, através de medições periódicas ou contínuas de um ou mais parâmetros significativos. A intervenção de manutenção preditiva busca a detecção precoce dos sintomas que precedem uma avaria. São denominações equivalentes: manutenção baseada na condição ou manutenção baseada no estado ou manutenção condicional”

As Principais ferramentas utilizadas para manutenção preditiva, incluem:

- Análise de vibracional;
- Análise de óleo (ferrografia, cromatografia e viscosimetria);
- Termografia;
- Ensaio visual (direto ou indireto);
- Ensaio não-destrutivos.

A termografia e estroboscópio utilizam a luz para realizações de análises. através da banda espectral de infravermelho, a termografia, captura e identifica as substâncias presente no óleo, enquanto a estroboscópio, lançam flashes de luz bem curtos e de alta intensidade, podendo analisar uma máquina em movimento (JÚNIOR, 2017 e ABECOM, 2023).

A análise de óleo lubrificante é uma técnica que permite monitorar o estado no qual o óleo lubrificante se encontra e dos componentes internos do equipamento, sendo assim, uma das técnicas mais importantes para a manutenção preditiva, onde é possível detectar falhas prematuras das peças internas de um equipamento, perda de aditivos e contaminantes (NUNES FILHO, 2022).

O monitoramento do estado do óleo lubrificante é por meio do estudo de contagem, dimensão, aspecto e composição de partículas, análise de viscosidade, número de neutralidade (acidez ou basicidade) e partículas magnéticas, que contribuem para os componentes internos sem a exigência de inspeção visual acarretando uma inatividade do equipamento (KIMURA, 2010).

Alguns conceitos são importantes para a utilização de luz na manutenção preditivas.

2.1.2. Espectro eletromagnético

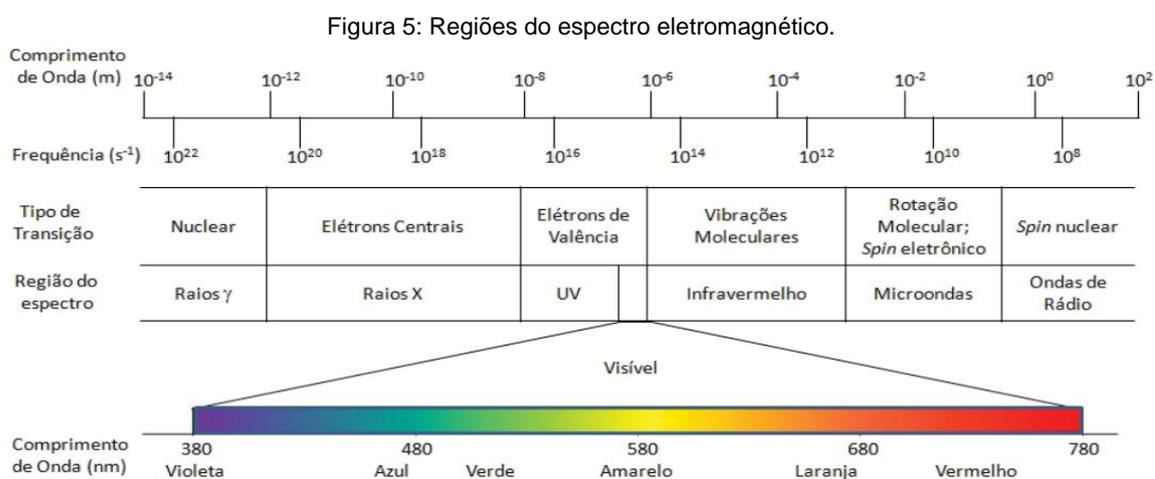
Segundo Young e Freedman (2009), o fundamento da eletricidade e magnetismo foi retratado pelas equações de Maxwell na metade do século XIX. Maxwell mostra que o campo magnético é oscilante a uma fonte de campo elétrico, assim com um campo elétrico é oscilante a uma fonte de campo magnético. As variações contínuas desses campos são definidas como ondas eletromagnéticas, que incluem ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e raios gama.

Nossos olhos não conseguem detectar todas as formas de radiação eletromagnética, assim como nossos ouvidos não conseguem captar todas as frequências sonoras. Os ultrassons, que têm aplicações médicas e também são

usados em apitos para cães, e os infrassons são exemplos de sons imperceptíveis (LUZZI, 2017).

A percepção do olho humano é capaz ver a luz visível (VIS), com o comprimento de onda da radiação está entre 380 a 780 nm. Outro intervalo de radiação que também foi estudado é a ultravioleta (UV), que começa em 380 nm e termina em 180 nm. Ambas as radiações têm energia suficiente para excitar os elétrons de valência de átomos e moléculas e, portanto, relacionados com a excitação de elétrons (PASSOS,2012).

A Figura 5 representa visualmente a vasta extensão do espectro eletromagnético, que abrange uma ampla gama de comprimentos de onda e frequências. Essas características variáveis dividem o espectro em várias regiões (MOREIRA; SANTOS; COSTA JUNIOR, 2016).



Fonte: Passos, 2012.

A absorção de radiação na região visível resulta na manifestação de cores das amostras. A cor refletida da amostra ao ser atingida pela luz branca representa a radiação que não foi absorvida, pode-se dizer que, a cor que foi absorvida é a complementar da cor transmitida. A combinação das cores absorvidas e transmitidas restaura a cor branca (OHWEILER, 1976; HARRIS, 2008).

O físico Thomas Young (1773 – 1829), descobriu o RGB através de três cores primárias: vermelho, verde e azul. Ao combinar duas dessas cores primárias, uma nova cor é produzida e conhecida como cor secundária. Em todo o universo, existe uma vasta gama de cores misturadas, que podem ser observadas em monitores de televisão e telas de computador (CAMPOS,2017).

Ainda de acordo com Campos (2017), os celulares e outros dispositivos eletrônicos que são compostos de pixels exibem cores em quantidades específicas. Essas cores são organizadas em uma escala que varia de 0 a 255 (R, G, B). Quando as três cores são misturadas em seus valores mínimos (0, 0, 0), a cor resultante é o preto. Por outro lado, quando as cores estão em seus valores máximos (255, 255, 255), a cor resultante é o branco. É importante observar que variações entre esses extremos produzem tons intensos, tipicamente mais claros, enquanto valores mínimos geram tons mais escuros. Consequentemente, há um total de 16.581.375 cores de acordo com o modelo RGB, o que corresponde à seleção de 16 milhões de cores nas configurações da placa de vídeo.

2.1.3. Técnicas usadas na análise de óleo lubrificante

A técnica da ferrografia foi descoberta em 1971 por Vernon Westcott, no Estados Unidos e somente em 1988 foi introduzida o uso no Brasil. A ferrografia e a espectrofotometria são as duas principais metodologias utilizadas para a detecção de contaminantes em fluidos lubrificantes. A ferrografia, especificamente, é uma técnica analítica comum empregada no domínio da manutenção preditiva para várias máquinas industriais, incluindo, prensas hidráulicas, tornos grandes, bombas, dosadores, entre outros. Esta análise específica avalia tanto a aparência quanto as dimensões das partículas presentes no fluido lubrificante, permitindo assim uma determinação mais precisa da extensão e localização do desgaste (VII CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2012).

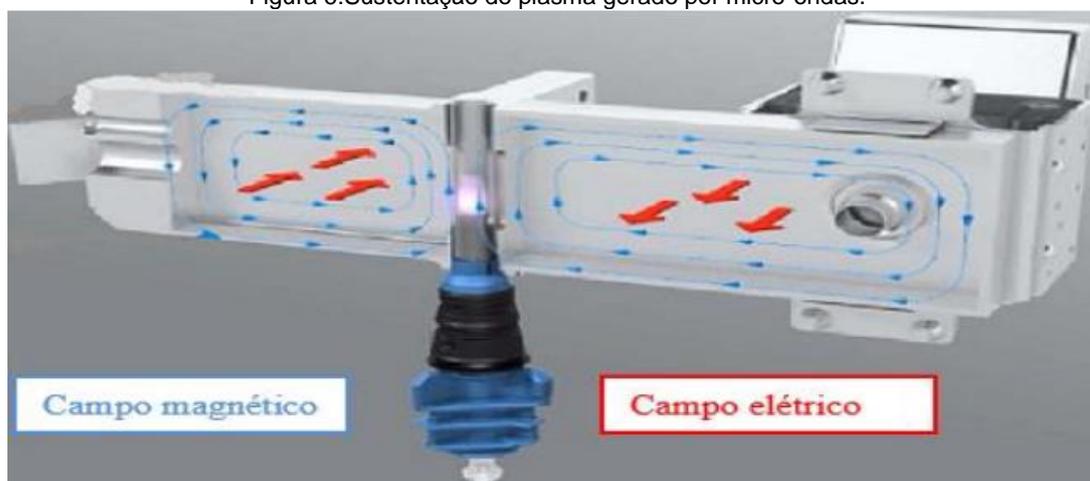
Ao monitorar uma ampla gama de veículos, incluindo carros de passeio, ônibus, caminhões, tratores, entre outros, a espectrofotometria surge como uma técnica mais adequada. Os levantamentos mais empregados no monitoramento veicular envolvem a identificação de elementos metálicos, incluindo cobre, alumínio, ferro e cromo, presentes nas diversas ligas metálicas utilizadas nas peças. Além disso, a presença de silício, causada principalmente por poeira, também é examinada com frequência. Quando se trata de análise de óleo, os principais fatores que contribuem para os problemas podem ser rastreados até a contaminação do fluido, que inclui partículas sólidas, umidade, calor, refrigerante e outros elementos semelhantes. Além disso, outro fator significativo é a deterioração dos aditivos presentes no óleo (PRADO FILHO, 2023).

a) Espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por micro-ondas – MIP-OES

O Espectrômetro de Emissão Atômica de Plasma Induzido por Micro-ondas (MIP-AES) possui um sistema diferenciado para gerar e manter plasma. Nessa técnica, o nitrogênio é removido do ar, tornando mais eficiente e com maior praticidade para o uso, pois não utiliza gases inflamáveis, é mais seguro e com alto desempenho. Além disso, sua fonte de plasma de micro-ondas fornece melhores limites de detecção em comparação com outras técnicas de absorção átomo de chama (AGILENT, 2016).

A geração de plasma requer um campo magnético axial e um campo elétrico radial, cuja energia de micro-ondas é focalizada e mantida por uma "íris ressonante", criando um plasma toroidal com um canal central. O nitrogênio no plasma é excitado magneticamente por micro-ondas e atinge rapidamente o equilíbrio térmico com os elétrons, produzindo assim um plasma sólido, resistente e de alta temperatura, como mostrado na Figura 6 (AGILENT,2016).

Figura 6: Sustentação do plasma gerado por micro-ondas.



Fonte: Agilent Technologies, 2016

Os íons de nitrogênio, juntamente com os elétrons resultantes, são condutores e sustentam o plasma absorvendo energia de fontes externas para manter a temperatura. Os cilindros de nitrogênio podem ser usados como fontes ou geradores de nitrogênio para extrair o gás por meio de sistemas de ar comprimido (AGILENT, 2016).

b) Espectrometria UV- Vis

A espectroscopia UV-vis é uma técnica científica usada para medir a quantidade de luz absorvida ou transmitida por uma amostra em diferentes comprimentos de onda de luz ultravioleta (UV) e visível (vis). O processo envolve iluminar uma amostra com um feixe de luz visível ultravioleta e medir a quantidade de luz que passa pela amostra. Ao analisar os padrões de absorção e transmissão de luz, os cientistas podem identificar e quantificar os componentes da amostra (ALMEIDA, 2018)

Algumas das principais características da espectroscopia UV-vis incluem:

Cromóforo: O único requisito para uma amostra ser analisada por espectroscopia UV-vis é que ela absorva luz na região UV-vis, ou seja, contenha um cromóforo (AGILENT,2020). Esse é um fator limitante da técnica. Caso a espécie não seja um cromóforo adequado, é possível a derivação química com uso de um reagente cromogênico apropriado (HARRIS, 2008)

Análise Qualitativa e Quantitativa: A relação entre uma substância e seu espectro UV-vis pode ser usada para análise qualitativa, ou seja, determinar a presença de certas substâncias, e análise quantitativa, ou seja, determinar as quantidades de certas substâncias (AGILENT,2020).

Aplicações: A espectrofotometria UV-vis é comumente usada em muitos campos da ciência, incluindo química, biologia e física, para estudar as propriedades dos materiais e suas interações com a luz. Também é usado na indústria de semicondutores para medir a espessura e as propriedades ópticas de filmes finos. (AGILENT,2020). Derivação química para aumentar a sensibilidade.

c) Óleo lubrificante

Segundo Silva *et al* (2012), o óleo mineral é oriundo do refino do petróleo. Além disso, o óleo mineral, também conhecido como óleo branco, possui na sua composição química hidrocarbonetos que contêm em torno de 15 e 50 carbonos na cadeia e uma pequena quantidade de nitrogênio, enxofre e oxigênio (SPEIGHT, 2014).

De acordo com Ferreira (2008) e Tillmann (2013), o óleo mineral é chamado de óleo lubrificante quando são misturados aditivos que permitem melhorias nas propriedades pré-existentes ou específica(s). A principal função do óleo lubrificante é

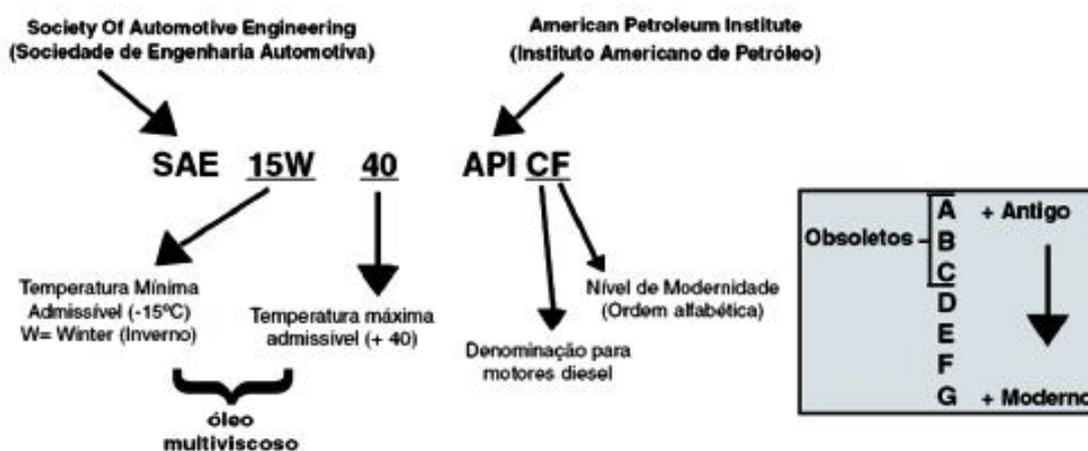
lubrificar os componentes dos motores, eliminar calor, diminuir ruídos do motor, vedar, limpar e remover partículas geradas pelo atrito entre as peças.

O óleo lubrificante é classificado em três tipos de acordo com o petróleo de origem: parafínico, naftênico e aromático que constitui o petróleo processado (TEXACO, 2005).

Existem três organizações, a SAE (*Society of Automotive Engineers*), a ASTM (*American Society for Testing and Materials*) e API (*American Petroleum Institute*), que são encarregados pelas classificações dos óleos lubrificantes. A API elaborou uma categoria de ensaio e meta para o desempenho do óleo, a ASTM desenvolveu a norma técnica para os materiais, produto, sistemas e serviços e o SAE, reuniu a informação prática em um manual SAE para os usuários (PEREIRA, 2015).

Na figura 7, mostra o sistema de classificação do óleo lubrificante das organizações SAE e API.

Figura 7: Sistema de classificação do óleo lubrificante.



Fonte: TILLMANN, 2013.

Segundo Texaco (2005) e Ipiranga (2019), são feitas avaliações com sequências de testes para motores padronizados em condições operacionais. Em todas as sequências de testes avaliadas é analisado o desempenho do óleo lubrificante no motor em condições variadas de funcionamento tais como: viscosidade, temperatura, resistência à corrosão, estabilidade hidrolítica, oxidação, rotação, carga e tipo de combustível.

Os níveis de viscosidade são expressos em números, pelo grau SAE, de 0W até 25W são indicadas para viscosidade de baixa temperatura, que são adequados durante a partida do motor no inverno, facilitando o rápido bombeamento para a

lubrificação das peças em regiões de baixa temperatura e o aquecimento do motor (TEXACO, 2005).

Ainda, de acordo com Texaco (2005), os graus SAE de W20 - 60 provocam a formação de película adequada para uma boa lubrificação em temperatura operacional, ou seja, quando o motor está em funcionamento.

c.d) Metais encontrados nos óleos lubrificantes

De acordo Ferreira (2008) e Silveira (2010), é comum encontrar íons metálicos em óleos lubrificantes tais como: Fe, Cr, Ni, Cu, Zn e V, sendo que as concentrações podem alcançar miligramas por litro. A ocorrência desses íons metálicos nos óleos se deve a duas fontes: ao processo de refino do petróleo, etapa em que são utilizados catalisadores no craqueamento catalítico; e da própria origem e prospecção do petróleo.

Após os óleos lubrificantes serem utilizados para minimizar o atrito dos componentes, quando analisados são encontrados diversos tipos de metais devido ao desgaste das peças, exposição a contaminantes, modo como o motorista conduz o veículo e ao tempo de uso. Essas partículas metálicas, é decorrência dos desgastes das peças que acabam se acumulando no óleo lubrificante (ZMOZINSKI, 2010).

Os motores são formados por anéis de pistões e espelho cilíndrico, que trabalham utilizando lubrificação limítrofe onde metal-metal se atritam e impedem o acesso do filme lubrificante entre eles. Já no caso dos mancais de apoio, virabrequim e o apoio das bielas, trabalham na forma de lubrificação hidrodinâmica. As peças de superfície dos came e dos tuchos das 26 válvulas funcionam na forma que oscila de lubrificação entre limítrofe e o misto (PEREIRA, 2015). Na Tabela 1 são apresentados diferentes íons metálicos encontrados no óleo lubrificante e a possível origem.

Tabela 1:Diferentes metais encontrados no óleo lubrificante e a possível origem.

Metais Presentes	Indicação por desgaste
Alumínio (Al)	Pistões, rolamentos, bombas, rotores, tuchos de bombas.
Boro (B), Sódio (Na)	Furos no sistema de resfriamento

Ferro (Fe)	Cilindros, engrenagens, anéis, eixo, virabrequim, rolamentos, bomba de óleo, compressor de ar, eixo de comando de válvulas, impurezas, corrosão, bomba e óleo.
Crômio (Cr)	Anéis, rolamentos, cubos de freio, cilindros e partes de sistemas hidráulicos.
Cobre (Cu)	Buchas, rolamentos, discos de transmissão, arruelas de encosto, mancais.
Silício (Si)	Contaminação pelo ar
Níquel (Ni)	Rolamentos e Válvulas
Estanho (Sn), chumbo (Pb), Cádmio (Cd)	Rolamentos

Fonte: ALVES, 2016.

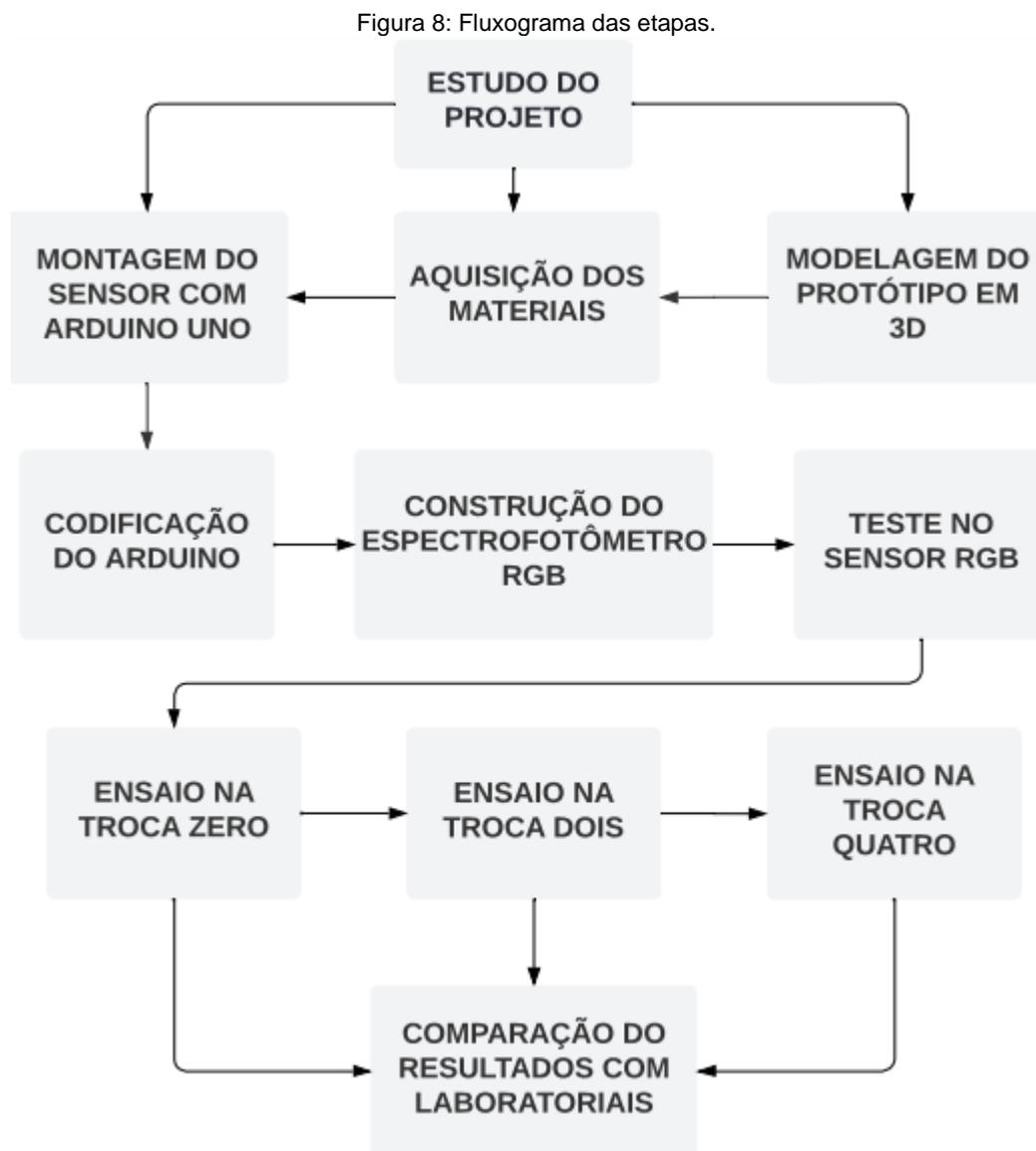
O óleo lubrificante acabado contém aditivos recém-produzidos onde são encontrados vários tipos de metais que melhoram no desempenho de aplicações especiais. Dessa forma, os compostos são empregados com funções tais como: antioxidantes, inibidores de corrosão, agentes para operação em alta pressão, detergentes e dispersantes (FERREIRA, 2008).

3. Materiais e Métodos

Neste capítulo serão apresentados a confecção do colorímetro RGB, procedimentos experimentais para os ensaios, método do centroide de um triângulo para transformar RGB em coordenadas e comparação dos dados para obtenção das cores encontradas nos óleos lubrificantes.

3.1. Fluxograma da Metodologia

A Figura 8 mostra o fluxograma das etapas para a realização deste trabalho.



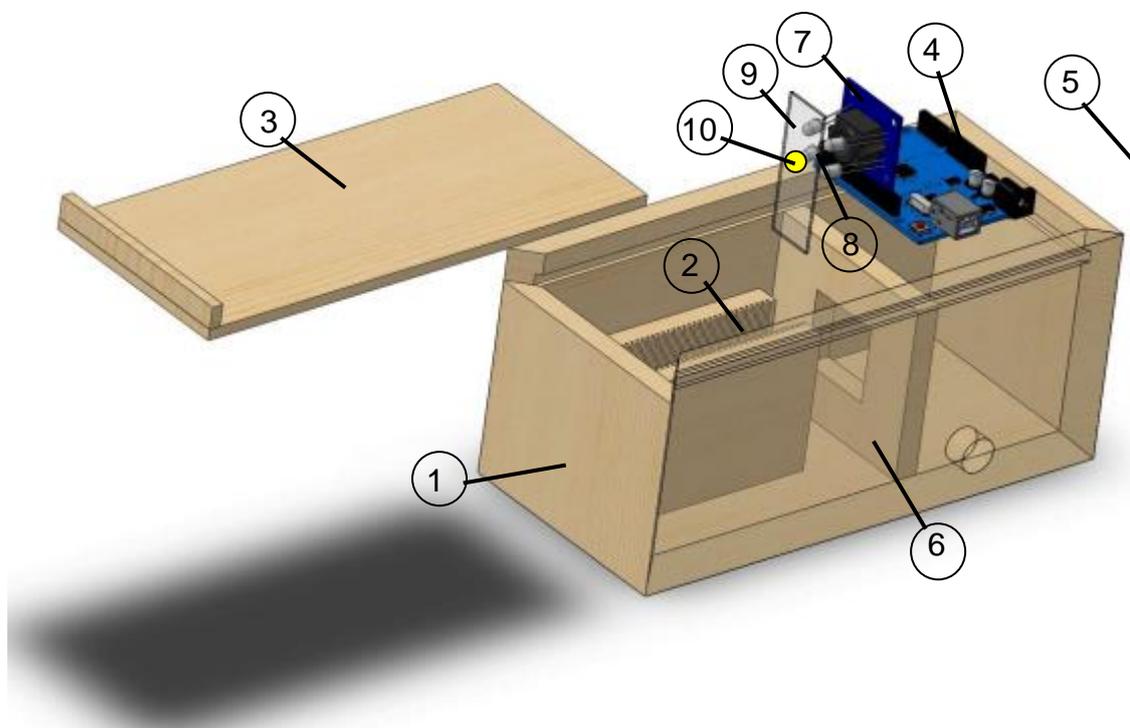
Fonte: Autora (2023).

3.2. Construção do colorímetro RGB

O colorímetro RGB consiste em uma caixa retangular de madeira MDF (*Medium Density Fiberboard* ou Placa de Fibra de Baixa Densidade) de 215x95x115mm. O conjunto possui uma tampa corrediça com intuito de controlar a luminosidade fazendo que não ocorra interferência na análise, além disso, uma abertura na lateral do invólucro liga o Arduino UNO através do cabo usb ao notebook, também foi acoplado à caixa, um sensor TCS3200 para a realização das leituras dos corpos de provas através de uma lâmina de vidro, que contém a dimensão de

90x85x0,5mm, onde é adicionada na guia. Na Figura 9 tem-se a vista explodida do espectrofotômetro RGB.

Figura 9: Vista explodida do colorímetro.



Fonte: Autora (2023).

Onde,

1. Invólucro;
2. Guias das lâminas de vidro;
3. Tampa corrediça;
4. Arduino UNO R3;
5. Microcomputador Samsung CORE I5;
6. Divisória Arduino / Sensor;
7. Sensor TCS3200;
8. Ondas eletromagnéticas de emissão / recepção;
9. Lâminas de microscopia ponta fosca (FL6-7105-1);
10. Amostra de óleo (1mL).

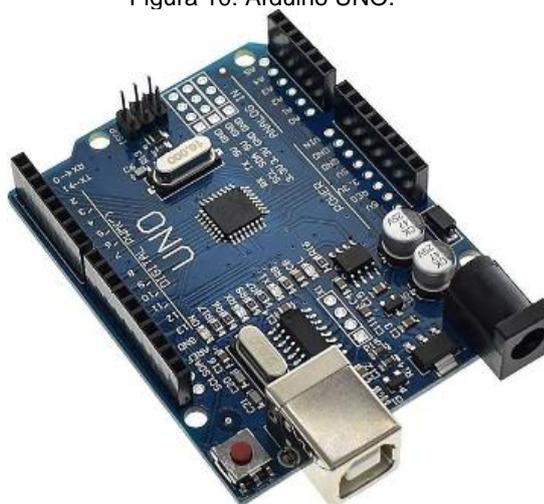
3.3. Arduino UNO

O Arduino foi desenvolvido na Itália, em 2005, com a finalidade de disponibilizar uma plataforma de prototipagem eletrônica versátil e de baixo custo, a partir do desejo do projetista de criar ambientes e objetos interativos (PINTO, 2011).

Na plataforma de desenvolvimento Arduino, pode-se utilizar sensores e atuadores que quando conectados aos sistemas digitais, podem medir e ajustar variáveis em relação ao ambiente físico, além da elaboração de cálculos numéricos e de estruturar ideias lógicas computacionais criando interação ao ambiente físico (ARAUJO *et al*, 2012).

O Arduino possui uma plataforma de código aberto, que é constituída de uma placa eletrônica (*hardware*) e um ambiente de desenvolvimento (*software*), a fim de contribuir para o uso de toda sociedade. A plataforma Arduino UNO, conforme a Figura 10, contém um microcontrolador ATmega328, possuindo 14 terminais de entrada/saída (06 podem ser usados como saída PWM), 06 entradas analógicas, um oscilador a cristal de frequência de 16 MHz, uma conexão USB, entre outros detalhes. Pode ser utilizado nos sistemas operacionais como, Windows, Linux e MacOS. (ARDUINO, 2023).

Figura 10: Arduino UNO.



Fonte: ARDUINO, 2023.

Para operar a placa do Arduino UNO, os terminais de entrada/saída são conectados a um circuito eletrônico, que são responsáveis por enviar e receber as informações através do *software* Arduino IDE (Arduino, 2023).

Ainda, de acordo com Arduino (2023), as tarefas executadas pela placa são determinadas pelo *software* nela instalado. O *software* determina o início, a duração e o fim de cada processo, bem como a frequência com que os processos são repetidos.

A linguagem de programação é codificada de forma semelhante a C/C++, como pode ser visto no Anexo A, e depois passa pelo compilador sendo traduzido para um formato que a placa possa compreender e assim gerando os dados no computador.

3.4. Módulo Sensor TCS3200

Para executar a leitura das cores deste trabalho, foi utilizado um sensor TCS3200 do fabricante TAOS (*Texas Advanced Optoelectronic Solutions*), acoplado em uma divisória com a dimensão de 100x85mm que possui um rasgo no seu centro de 33x33mm.

O TCS3200 possui uma fonte luminosa própria de quatro LEDs de alto brilho em torno do seu sensor, sendo aceso no momento em que o módulo é ligado. Assim, os LEDs são responsáveis em iluminar área a ser analisado e filtrando as cores pela categoria RGB. Além disso, o sensor possui um dispositivo CMOS (*Complementary metal-oxide-semiconductor*), utilizado para transformar os fótons em elétrons para o processamento digital, com a matriz de fotodiodos 8x8 (64 fotodiodos) que estão divididos em: 16 filtros especiais que filtram a cor vermelha, 16 filtros que filtram a cor verde, 16 filtros que filtram a cor azul e outros com 16 não possuem filtros (TAOS, 2011). A Figura 11 mostra o sensor e o encapsulamento do *chip* e disposição dos fotodiodos utilizados neste trabalho.

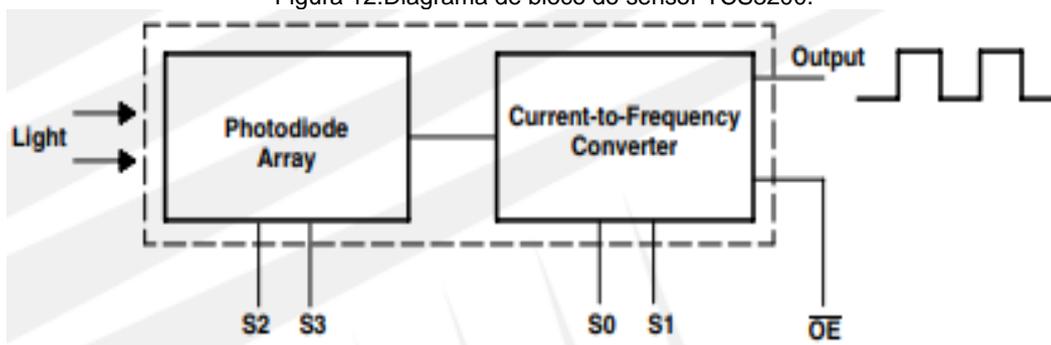
Figura 11: Sensor TCS3200 e encapsulamento do chip e os fotodiodos.



Fonte: Blog da robótica, 2023.

Os quatro tipos de fotodiodos são organizados de maneira alternada para reduzir o impacto da não uniformidade da radiação incidente. Os fotodiodos de mesma cor são ligados em paralelo. O diagrama de blocos do sensor TCS3200 é apresentado na Figura 12 (TAOS,2011).

Figura 12: Diagrama de bloco do sensor TCS3200.



Fonte: TAOS, 2011.

Os conversores de frequência de luz, embutidos no sensor, são programáveis e usam circuitos integrados para combinar os fotodiodos de silício e conversores de corrente para frequência. Uma vez ativado, o sensor emite uma onda quadrada com ciclo de trabalho de 50%. A frequência dessa onda é diretamente proporcional à quantidade de luz que ela detecta, ou seja, a irradiância (TAOS,2011).

Ajustar a frequência de saída (f_o) do sensor é possível por meio de dois pinos de entrada (S0 e S1), que possibilitam obter como saída a frequência máxima do sensor a 100% e podendo ser reduzido a 20% ou 2%. A interface direta com um microcontrolado, neste caso, Arduino UNO, é realizado pelos pinos digitais de entrada e saída. Os filtros de cores são ajustados através dos pinos S2 e S3 e OUT, que é o responsável pelo envio das informações; e o pino OE (*Operational Enable*), que deve ser ligado ao GND, já que o módulo vai enviar informações continuamente ao Arduino UNO. As Tabelas 2 e 3 mostram os esquemas dos pinos S0 e S1 e dos pinos S2 e S3, respectivamente (TAOS, 2011).

Tabela 2: Configuração da escala da frequência de saída (f_o).

S0	S1	Escala da frequência de saída (f_o)
Desligado	Desligado	Desligado
Desligado	Ligado	2%
Ligado	Desligado	20%
Ligado	Ligado	100%

Fonte: TAOS, 2011.

Tabela 3: Configuração dos filtros de cor do sensor.

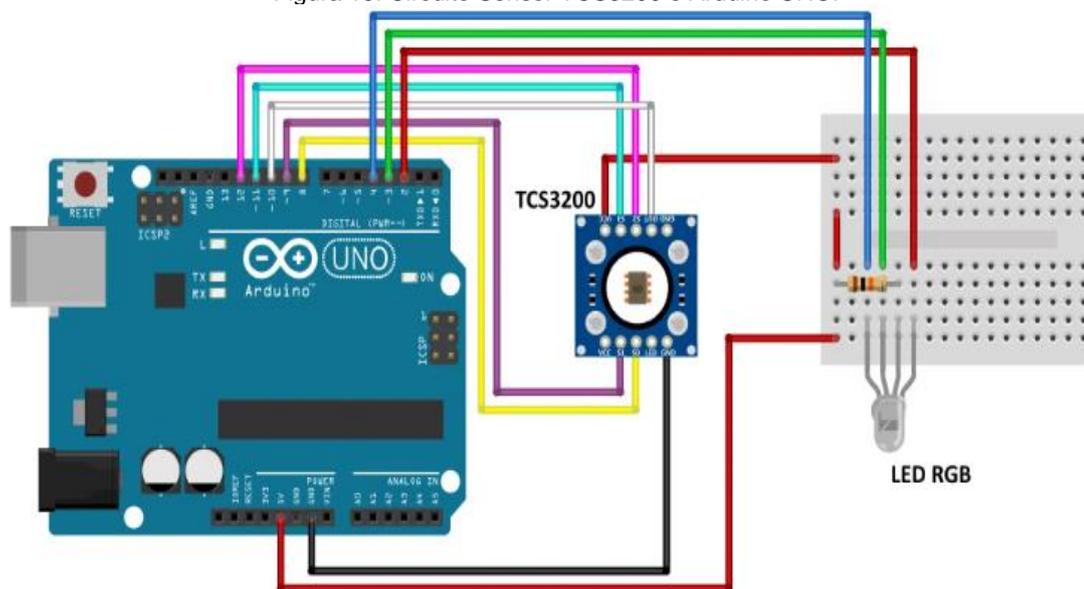
S2	S3	Tipo do fotodiodo
Desligado	Desligado	Vermelho (Red)
Desligado	Ligado	Azul (Blue)

Ligado	Desligado	Sem filtro
Ligado	Ligado	Verde (Green)

Fonte: TAOS, 2011.

No circuito utilizado nesse trabalho como apresentado na Figura 13, possui um led RGB difuso de 5 mm e anodo comum, conforme o sensor TCS3200 vai fazendo as leituras das análises o led vai acendendo.

Figura 13: Circuito Sensor TCS3200 e Arduino UNO.



Fonte: Makerhero, 2016.

3.5. Sistema de coleta de dados

Os ensaios foram feitos no invólucro com a luz ambiente controlado (escuro). As amostras de óleos lubrificantes foram adquiridas de quatro tipos de motocicletas, Honda Biz 125, Honda Pop 100, Honda Titan ES e Yamaha Fazer 150 ED, onde foram utilizados no primeiro trabalho, no qual foi empregado a espectrometria de plasma induzido por micro-ondas para a determinação de metais presente em cada óleo lubrificante, como pode ser visto no Anexo B (SILVEIRA, 2019).

Antes de iniciar os ensaios foram reservados três tipos de amostras dos óleos lubrificantes utilizados nos motores das motocicletas como mostrado na Figura 14.

Figura 14: Amostras do óleo lubrificante.



Fonte: Autora (2023).

Os modelos ensaiados foram nomeados como troca zero, troca dois e troca quatro. Para selecionar quais trocas seriam analisadas foi levado em consideração, a troca zero, pôr o óleo lubrificante que se encontrava presente nas motocicletas antes do início do estudo, a troca dois, por apresentar a menor concentração de metais de ferro e a troca quatro a maior concentração de metais de ferro. Vale ressaltar, que os óleos lubrificantes estavam estocados desde 2019, tendo ocorrido uma possível oxidação. A Tabela 4 mostram as concentrações de metais em função da quilometragem (km) encontradas nas motocicletas.

Tabela 4:Concentração de metais (mg*L-1) em função a quilometragem (km).

Trocas	Biz 125	Fe	Pop 100	Fe	Titan 150	Fe	Fazer 150	Fe
Zero	0	10,6	0	0,56	0	3	0	3,7
Dois	501	3,49	346	1,32	130*	0,47	125	0,37
Quatro	1054	3,74	1312	6,3	265	1,22	585	0,43
	Biz 125	Zn	Pop 100	Zn	Titan 150	Zn	Fazer 150	Zn
Zero	0	53	0	83,2	0	58	0	50
Dois	501	90	346	90	130*	94	125	93
Quatro	1054	105	1312	92,8	265	93	585	61,6
	Biz 125	Mn	Pop 100	Mn	Titan 150	Mn	Fazer 150	Mn
Zero	0	0,1	0	0,048	0	0,096	0	0,12
Dois	501	0,051	346	0,049	130*	0,0697	125	0,071
Quatro	1054	0,049	1312	0,0841	265	0,06836	585	0,05524
	Biz 125	Cr	Pop 100	Cr	Titan 150	Cr	Fazer 150	Cr

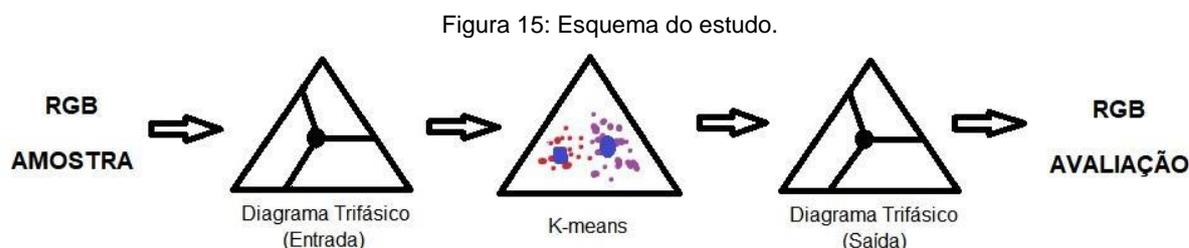
Zero	0	0,08	0	0,063	0	0,069	0	0,096
Dois	501	0,062	346	0,0774	130*	0,064	125	0,068
Quatro	1054	0,06	1312	0,105	265	0,067	585	0,06
	Biz 125	AI	Pop 100	AI	Titan 150	AI	Fazer 150	AI
Zero	0	0,7	0	0,415	0	2,19	0	2,3
Dois	501	0,7	346	0,8	130	0,82	125	0,6
Quatro	1054	0,361	1312	1,95	265	1,54	585	0,57

*Velocímetro com defeito

Fonte: Autora (2023)

Para identificação da cor na amostra em RGB, foi utilizado uma lâmina de vidro onde foram adicionadas 10 gotas de óleo lubrificante através de um conta gota, feito isso, a lâmina de vidro foi posicionada na guia e o sensor foi alimentado diretamente pelo Arduino UNO. O invólucro foi fechado com a tampa corrediça, gerando assim os dados RGB para cada uma das amostras, como mostra o Anexo C.

Os dados coletados apresentaram as cores em relação ao RGB que variam de 0 a 255. Foram realizados cálculos para transformar as coordenadas (x,y) em coordenadas RGB e através do k-means foi encontrado o centroide, assim, obtendo as cores relacionadas as análises, como pode ser visto no esquema do estudo na Figura 15.



Fonte: Autora (2023)

3.6. Métodos para coordenadas

Após as coletas, visto no anexo D, foram obtidas as cores de entrada em RGB, que variam de 0 a 255. A partir daí, criamos uma variável incomum nomeada de Xv . Essa variável foi determinada pela divisão do valor máximo do RGB, dividido pela soma das cores de entrada, como mostrada na Equação 1.

$$Xv = \frac{255}{(R + G + B)} \quad 1$$

Foram calculados os X_v para todos os dados de entrada. Em seguida, foram determinadas as coordenadas trifásicas através da multiplicação do X_v em relação a cada cor, como vista na Equação 2.

$$\begin{aligned}X_r &= X_v * R \\X_g &= X_v * G \\X_b &= X_v * B\end{aligned}\tag{2}$$

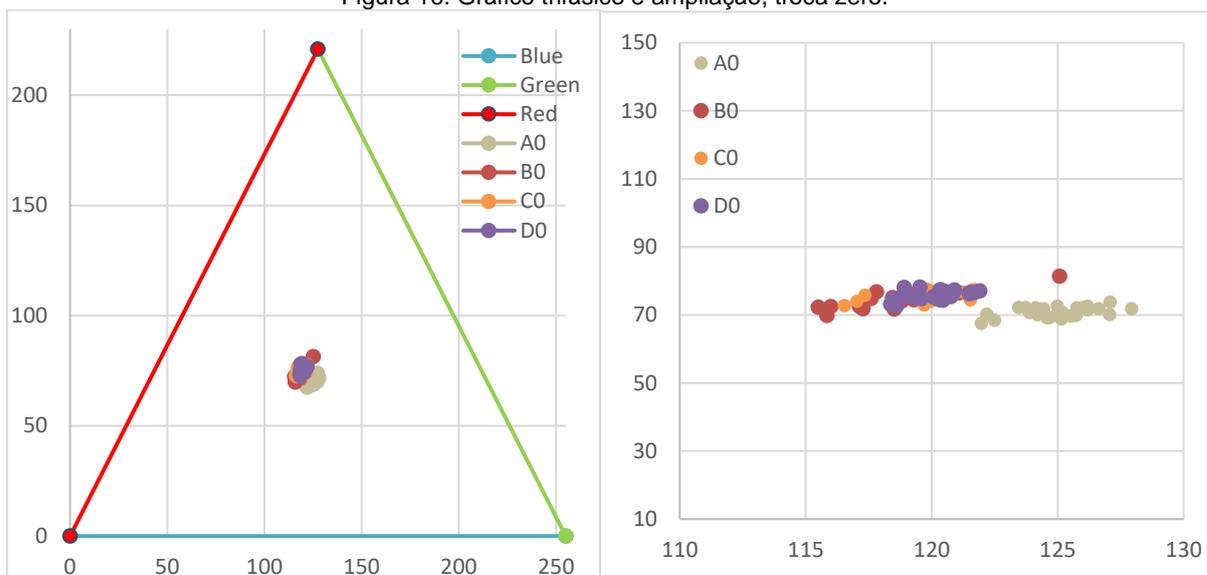
Assim, utiliza-se a trigonometria em relação aos dados coletados obtendo-se as coordenadas RGB e o ponto de intercessão das coordenadas, como pode ser vista no Anexo D.

4. Resultados e discussões

Dentre as análises realizadas durante o estudo, foram comparadas as nuvens de pontos representadas pelas coordenadas com as concentrações de metais, além disso, também foi comparado, através da Tabela 4, as quilometragens (km). Assim, podemos observar o comportamento das motocicletas em relação às quilometragens, as cores e as concentrações de metais.

Na troca zero, a motocicleta Biz 125 (A0) apresentou uma concentração de ferro alto de $10,6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ em relação as trocas dois e quatro, através do gráfico trifásico obteve o valor $R=89$, $G=82$ e $B=84$ onde observou-se um deslocamento do agrupamento em relação as outras motocicletas. Os metais zinco, cromo, manganês e alumínio obtiveram valores próximos, $R=92$, $G=87$ e $B=76$, nas motocicletas Pop 100 (B0), Titan 150 (C0) e Fazer 150 (D0) e se mantiveram agrupadas no gráfico, como pode ser visto na Figura 16.

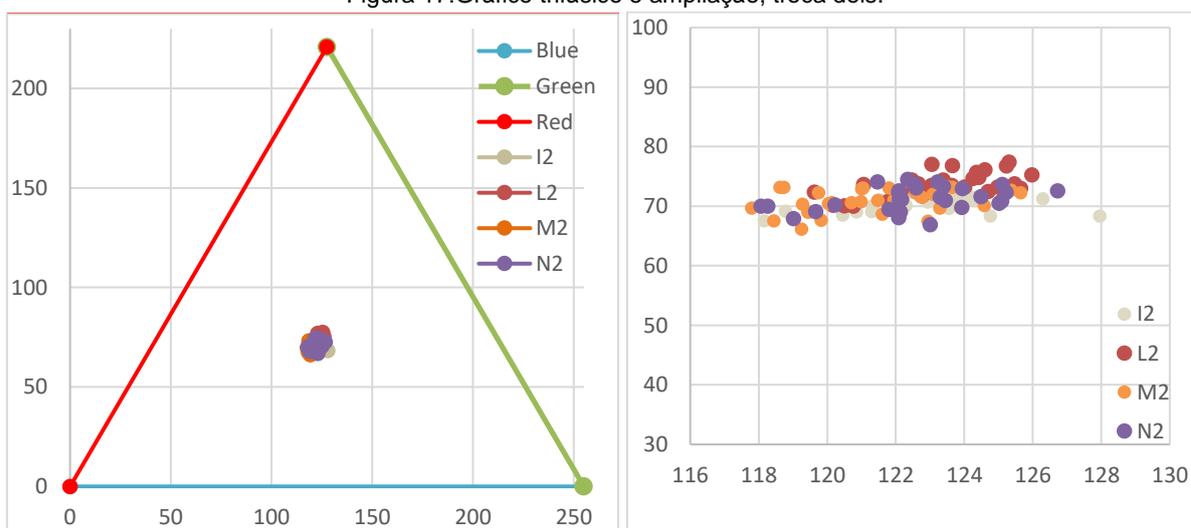
Figura 16: Gráfico trifásico e ampliação, troca zero.



Fonte: Autora (2023)

Já na troca dois, o zinco, manganês, cromo e alumínio das motocicletas tiveram valores próximos. A Biz 125 (I2) apresentou uma concentração alta no ferro de $3,46 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, mas não houve mudança significativa no gráfico trifásico, devido o valor está próximo dos outros metais em RGB, R= 91, G=83, B=81. Na Figura 17 podemos observar as representações das cores no gráfico trifásico onde se mantiveram agrupados.

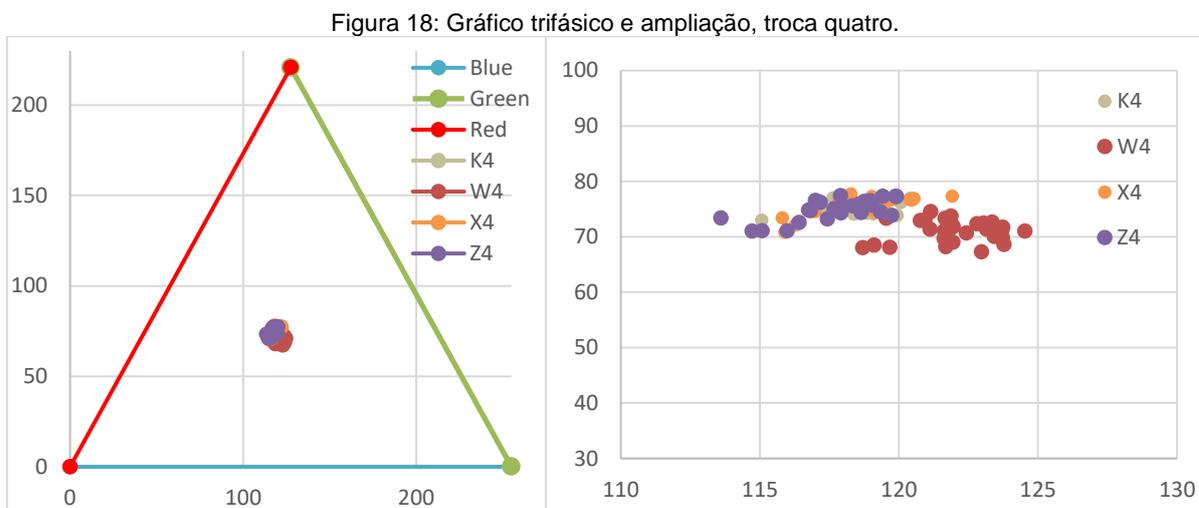
Figura 17: Gráfico trifásico e ampliação, troca dois.



Fonte: Autora (2023)

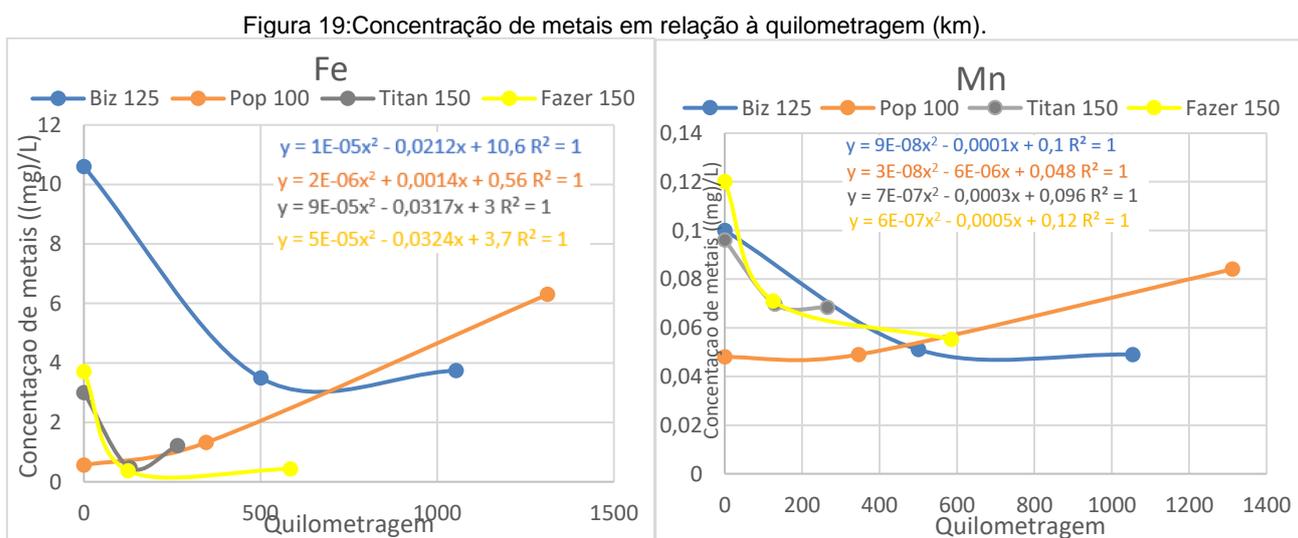
Na troca quatro, a Pop 100 (W4) apresentou um teor de ferro alto de $6,3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e no gráfico trifásico R=92, B=82 e G=81, sendo deslocado do agrupamento, porém as motocicletas Biz 125, Titan 150 e Fazer 150, apresentaram valores próximos em

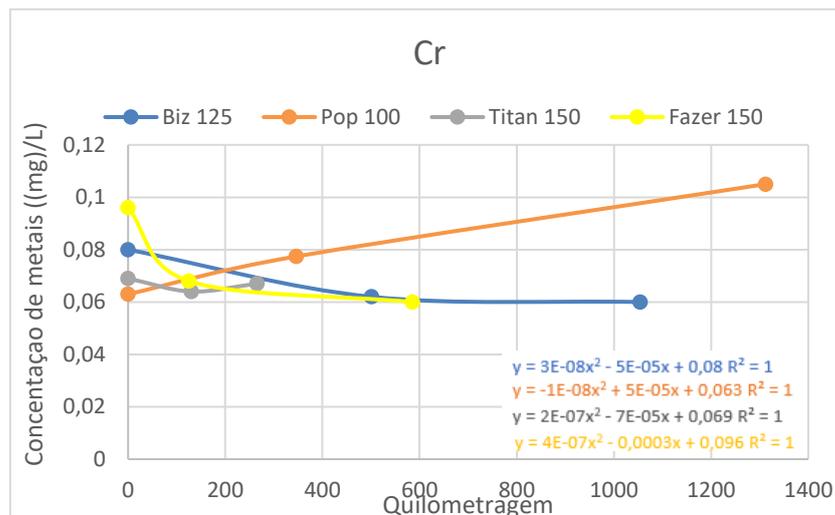
RGB, R=93, G=87, B=75 para alumínio, cromo, zinco e manganês, como visto na Figura 18.



Fonte: Autora (2023)

Na Figura 19, temos a quilometragem em relação as concentrações de metais do ferro, manganês e cromo. Podemos observar que a Biz 125, Titan150 e a Fazer 150, possui o mesmo comportamento durante a troca zero. Com as trocas dos óleos lubrificantes nas motocicletas esses teores de metais vão decaindo segundo a função, enquanto, o Pop 100 ocorre um aumento de 1025% no teor do ferro, 75% para o manganês e 67% para o cromo.

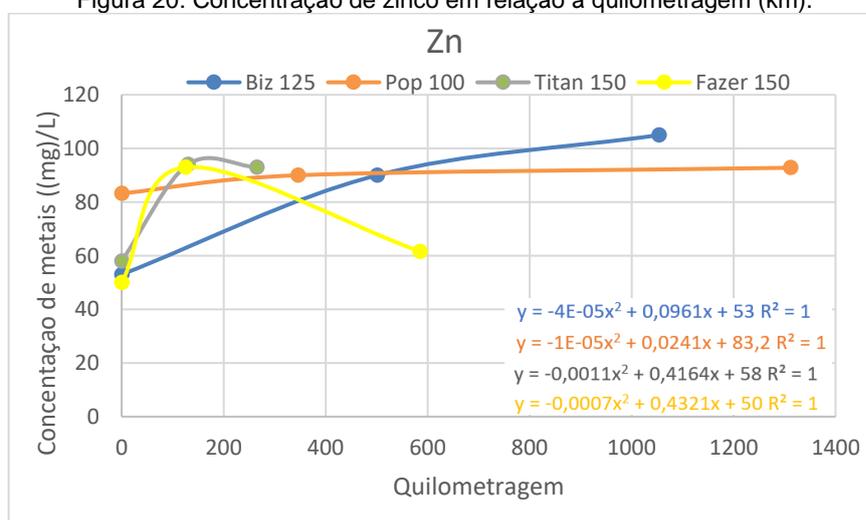




Fonte: Autora (2023).

Durante a análise, observou-se que na troca zero a concentração de zinco das motocicletas Biz 125, Titan 150 e Fazer 150 são de baixa concentração e de aproximadamente de $54\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Já na troca dois, ocorre um aumento desse teor nas motocicletas de 98%, 62% e 86%, respectivamente. Diferente da Pop 100 que tem um índice de zinco alto e permanece aumentando, como visto na Figura 20.

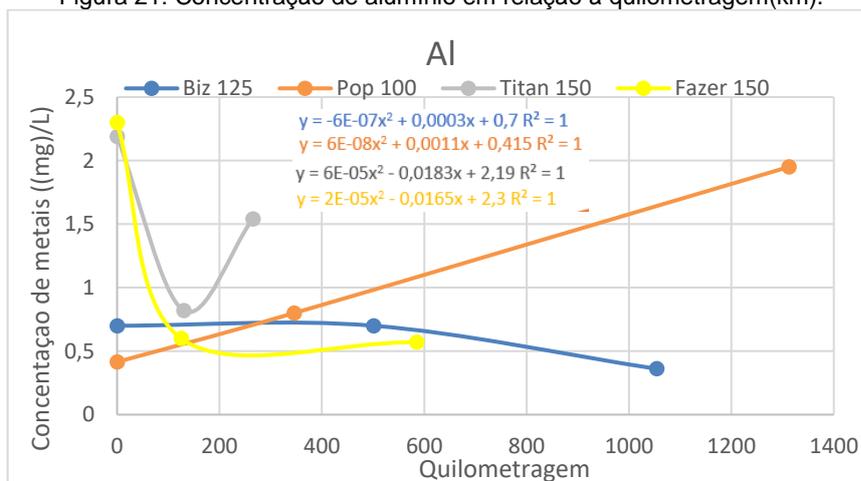
Figura 20: Concentração de zinco em relação à quilometragem (km).



Fonte: Autora (2023)

Na figura 21, podemos observar a concentração aproximada e alta no teor de alumínio nas motocicletas Titan 150 de $2,19\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e Fazer 150 de $2,3\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. A Biz 125, ocorre um decaimento durante as trocas dois e quatro de 94%. Já na Pop 100 tem um aumento linear de 370% no teor do alumínio.

Figura 21: Concentração de alumínio em relação à quilometragem(km).



Fonte: Autora (2023).

Podemos observar que os desagrupamentos das cores, ocorre devido a concentração de metais que possui um alto teor, como o ferro da Biz 125 e o alumínio que apresenta um aumento linear na motocicleta Pop 100. E os agrupamentos se mantêm presentes devido aos valores aproximados das concentrações de metais encontrado nas amostras dos óleos lubrificantes.

4.1. K - means

Através do conjunto de padrões definido no item 4, foi usado o k-means para encontrar o agrupamento dos dados onde a variação dos clusters seja otimizado. Proposto em 1967, este algoritmo não é apenas um dos mais conhecidos, mas também um dos mais antigos baseados em centroides. Quando apresentado um agrupamento de dados, o algoritmo seleciona aleatoriamente k registros, cada um caracterizando um cluster distinto, assim, o registro restante, ele calcula a similaridade e o centroide para cada cluster. O objetivo é colocar o cluster onde ele mantém a menor distância em relação aos outros clusters (LIMA, 2022).

Através das coordenadas encontradas, foi adicionado no código, como pode ser visto no Anexo E, sendo plotado o gráfico que representam os centroides das coordenadas das amostras. Foram definidas as quantidades clusters e que estão representados pelos pontos de azul.

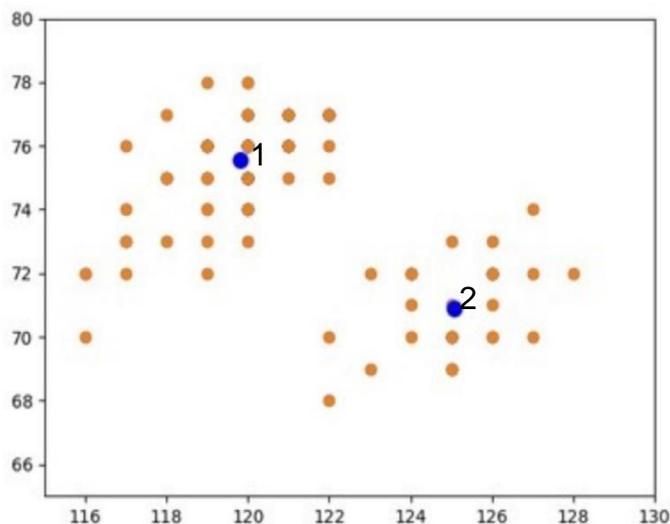
Nos dados A0B0C0D0 foi definido o cluster igual a 2. Os dados obtidos foram: $x = [125.06666667 - 119.82222222]$ e $y = [70.9 - 75.57777778]$

Na Figura 22, estão representando os pontos e a média aritmética de todos os pontos presentes no clusters.

Ponto 1= (125.06, 70.9)

Ponto 2= (119.82, 75.57)

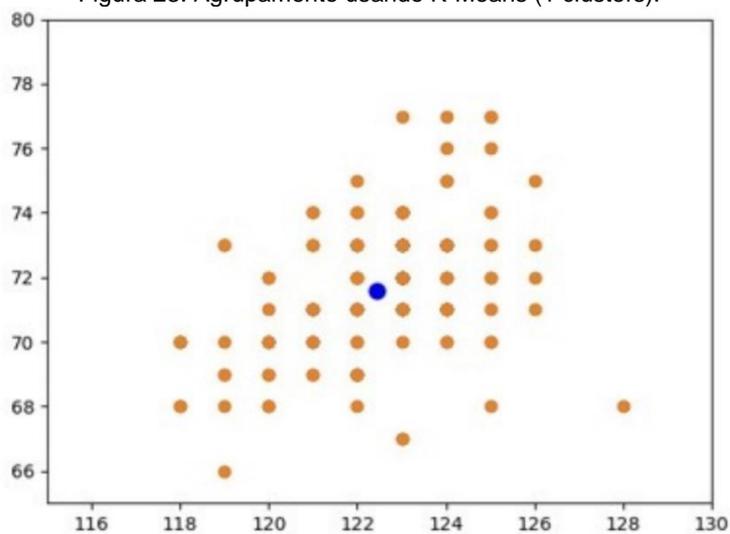
Figura 22: Agrupamento usando K-Means (2 clusters).



Fonte: Autora (2023).

Através do agrupamento no diagrama trifásico foi estabelecido o clusters igual a 1 para os dados I2L2M2N2. Assim, o ponto da coordenada do centroide foi de: ponto 1= (122.42, 71.56), como podemos ver na Figura 23.

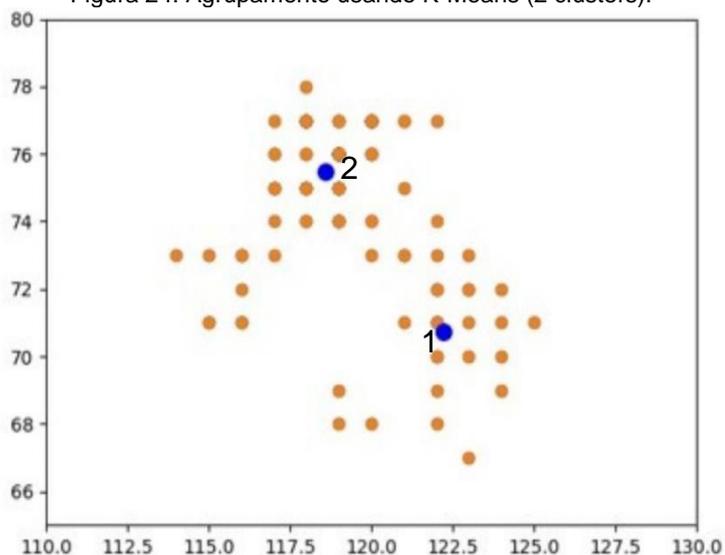
Figura 23: Agrupamento usando K-Means (1 clusters).



Fonte: Autora (2023).

Os dados das análises K4W4X4Z4, como visto na Figura 24, foi definido clusters igual a 2 e foram obtidos os pontos: ponto 1= (122.21, 70.75) e ponto 2 = (118.57, 75.46).

Figura 24: Agrupamento usando K-Means (2 clusters).



Fonte: Autora (2023).

A clusterização mostrou as posições de cada agrupamento e a partir desses dados iremos encontrar as cores em RGB referente a cada conjunto de dados.

4.2. Determinação das cores nas amostras

Para a determinação das cores, utilizaremos os pontos das coordenadas dos centroides encontrados no k-means. Foram também realizadas as médias das variáveis em comum, X_v , das amostras A0B0C0D0, I2L2M2N2 E K4W4X4Z4, como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5: Pontos do k-means.

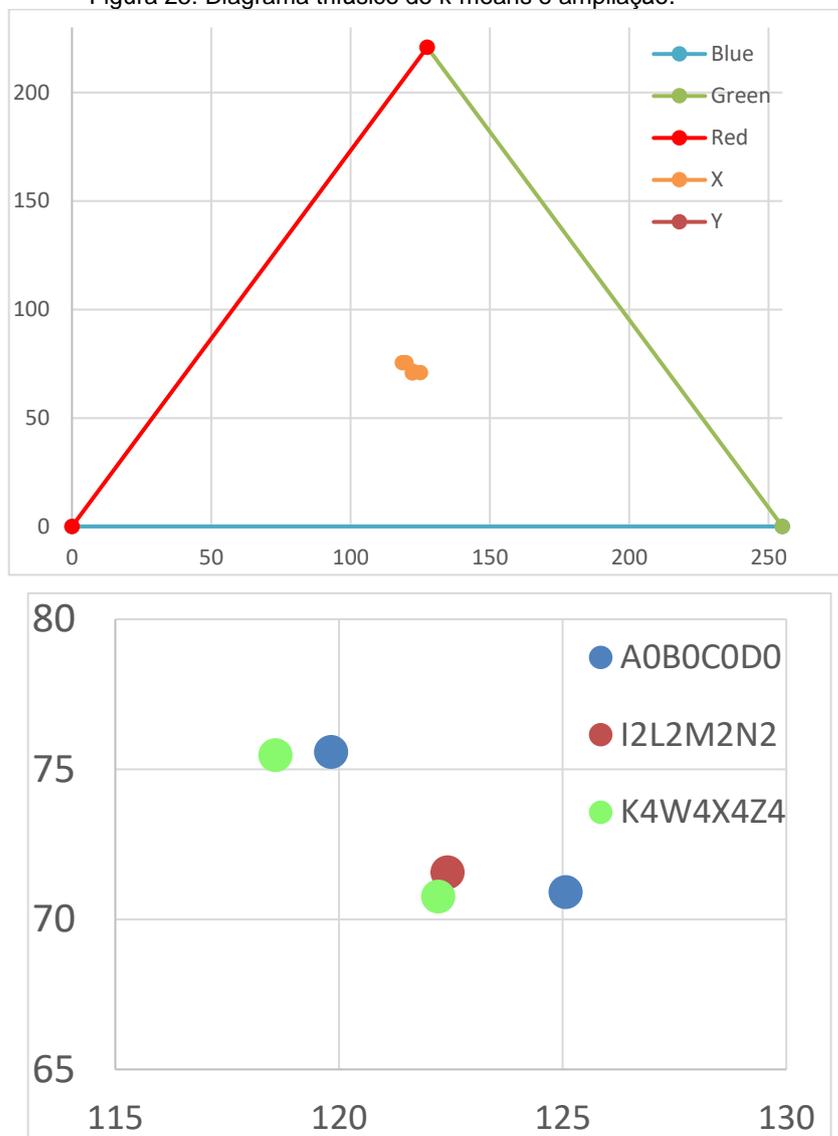
A0B0C0D0 - clusters =2	X	Y	X_v
p1	125,06	70,9	0,41
p2	119,82	75,57	0,42
I2L2M2N2 - cluster =1			
p1	122,42	71,56	0,49
K4W4X4Z4 - clusters=2			
p1	122,21	70,75	0,42
p2	118,57	75,46	0,42

Fonte: Autora (2023).

Através dos pontos das coordenadas dos centroides encontrados no k-means, foi realizado um novo diagrama trifásico, como visto na Figura 25. Observou-se que

no agrupamento da amostra I2L2M2N2, o ponto do centroide está relativamente próximo em relação ao P2 da amostra K4W4X4Z4.

Figura 25: Diagrama trifásico do k-means e ampliação.



Fonte: Autora (2023)

Por meio de pontos dos centroides, como foram vistos na Tabela 5, foram calculados novamente a trigonometria que estão relacionados as coordenadas de acordo com as cores *red* (X_R, Y_R), *green* (X_G, Y_G) e *blue* (X_B, Y_B). Determinando-se os cálculos das distâncias entre os centros dos agrupamentos equivalentes a cada cor. Esses valores são divididos pelo X_v e assim, são encontrados os novos valores RGB de acordo com as amostras.

Tabela 6: Novos valores RGB.

A0B0C0D0		
R	G	B
217	200	205
223	213	186

I2L2M2N2		
R	G	B
223	202	198

K4W4X4Z4		
R	G	B
224	199	198
226	213	183

Fonte: autora (2023).

Os valores presentes na Tabela 6, corresponde as cores presentes nos óleos lubrificantes que foram usados nas motocicletas.

5. Conclusões

A partir do levantamento bibliográfico durante o trabalho observou-se muitos estudos e variações referente a utilização do espectro de luz para diversos fins. A espectroscopia possui um campo extenso e com muitas subdisciplinas que podem ser categorizadas pelo tipo de material que está sendo analisado.

A confecção do colorímetro RGB se destacou pelos materiais de baixo custo (soma total de R\$ 250 reais) e de fácil operação. As análises das medidas tiveram excelentes resultados possibilitando a realização da comparação de resultados obtidos pelo espectrofotômetro com plasma induzido por micro-ondas realizado por Silveira (2019).

Através dos dados coletados, observou-se que o ferro apresenta um bom marcador de identificação de desgaste nos motores das motocicletas, por possuir alto teor de metal em comparação aos outros metais. Nos gráficos apresentados no capítulo 4, foi observado quando uma motocicleta possui um teor alto de ferro tende a desagrupar dos restantes dos metais, como foi visto na troca zero onde a Biz 125 apontou $10,6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e a Pop 100 através da troca quatro $6,3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Durante análise, foi notado que a Pop 100 apresentou um aumento significativos dos metais em relação as outras motocicletas, mas somente notada no

diagrama trifásico na troca quatro quando apresenta um teor alto 370% de alumínio e o RGB de R=92, B=82 e G=81.

Os valores de saída do RGB apresentaram valores próximos aos RGB de entrada. Podemos dizer que o resultado é satisfatório, possibilitando análises em corpos de provas.

A utilização do colorímetro na identificação das variações de luz RGB em amostras de óleo foi possível principalmente para variações de ferro e alumínio em motos Biz 125 e Pop 100 nos quilômetros 0 km e 1312 km após a troca.

6. Sugestões de trabalhos futuros

- Avaliar o óleo lubrificante com viscosidade diferente;
- Avaliar as motocicletas com cilindradas diferentes;
- Adicionar no espectrofotômetro RGB uma lente polarizada entre sensor e a lâmina;
- Testar outros métodos de transformação RGB em coordenada, como exemplo, ortocentro;
- Testar outros métodos de clusters sem ser k-means;
- Variação de cores de outras substâncias para fins específicos;
- Eliminar sombreamento na guia de distância;
- Modificação do sensor;
- Inserir o método de transformação de coordenada na própria aquisição de dados;
- Avaliar a influência do resíduo do óleo em estoque no aumento da concentração de ferro.

7 Referências bibliográficas

ABECOM. **Ferramentas de manutenção preditiva: quais não podem faltar em sua empresa?** Disponível em: <https://www.abecom.com.br/ferramentas-de-manutencao-preditiva/>. Acesso em: 09 jul. 2023.

AGILENT TECHNOLOGIES. **Princípios da Espectroscopia Atômica. Desenvolvendo uma Ciência melhor.** 2016. Disponível em: https://www.agilent.com/cs/library/eseminars/Public/5991-6593_Agilent_Atomic_Spectroscopy_Hardware_PTBR.pdf. Acesso em: 12 jul 2023

AGILENT. **UV-Vis e Fluorescência: teoria e aplicações.** 2020. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/516/o/UFCAT-UV-Vis_e_Fluoresc%C3%Aancia__teoria_e_aplica%C3%A7%C3%B5es.pdf. Acesso em: 12 jul. 2023.

ALMEIDA, Joseane Maria de. **Espectrofotometria UV-Vis.** Juiz de Fora, 2018. Color.

ARAUJO, I. B. Q. et al. **DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE AUTOMAÇÃO PREDIAL/RESIDENCIAL UTILIZANDO A PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM ELETRÔNICA ARDUINO.** Anais: XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (Cobenge), Belém, UFPA, 2012.

ARDUINO. Disponível em: <https://www.arduino.cc>. Acesso em: 11 abril 2023.

ARIAS, Eduardo Alfredo Medrano. **REDISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE ILUMINACION PARA ESPACIOS PUBLICITARIOS USANDO LED RGB.** 89 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ingeniero Electrónico, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2010.

AZEKA, Leandro Augusto Lopes. **ANALISADOR DE BILIRRUBINA NO SORO DE NEONATOS UTILIZANDO ESPECTROFOTOMETRIA DIRETA.** 2009. 147 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

CAMPOS, Érick Thomas de Sousa. **LUMINOSIDADE, CORES E FOTOMETRIA**. 2017. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Ciências Naturais, Universidade de Brasília – Unb, Brasília, 2017.

CARVALHO, Clara Maia de. **UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE COMO PARTE DO PROGRAMA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA DE MÁQUINAS DE TRACÇÃO ENGRENADAS**. 2021. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2021.

DEMIAN JUNIOR, Aziz Elias. **Proposta de reatores eletrônicos para iluminação com alto desempenho**. 2008. 136 f. Tese (Pós Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

ESPECTROSCOPIA PARA O ENSINO MÉDIO UTILIZANDO A PLACA ARDUINO. Piauí: Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia, 2017.

FERREIRA, Heitor Breno Pereira. **DETERMINAÇÃO DE ÍONS ZINCO EM ÓLEOS LUBRIFICANTES POR VOLTAMETRIA DE REDISSOLUÇÃO ANÓDICA**. 2008. 85 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química Analítica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

FÜLLGRAF, Roberto Philippi. **ESPECTROFOTÔMETRO PORTÁTIL COM LED RGB PARA ANÁLISES QUÍMICAS E BIOLÓGICAS**. 139 f. Monografia (Especialização) - Curso de Eletronica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

GUERREIRO, Thiago Brito. **DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE UM FOTÔMETRO/FLUORÍMETRO MICROCONTROLADO À BASE DE LED RGB PARA A DETERMINAÇÃO DE ESPÉCIES DE INTERESSE ANALÍTICO**. 2015. 133 f. TCC (Pós-Graduação) - Curso de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

HARRIS, D. A. **Química Analítica Quantitativa**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

IPIRANGA. **Lubrificação Básica**. Disponível em: <www.ipiranga.com.br>. Acesso em: 01 abr. 2019

KIMURA, Rogério Katsuharu. **“USO DA TÉCNICA DE ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE EM MOTORES DIESEL ESTACIONÁRIOS, UTILIZANDO-SE MISTURAS DE BIODIESEL E DIFERENTES NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO DO LUBRIFICANTE”**. 129 f. Monografia (Especialização)- Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São Paulo, 2010

LIMA JUNIOR, Erione Barbosa de. **APLICAÇÃO DE ARDUÍNO NO DESENVOLVIMENTO DE UM COLORÍMETRO DE BAIXO CUSTO COM TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA ANDROID**. 2017. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2017.

LIMA, Luis Octavio. **Mineração de Dados: Conhecendo o k-means**. 2022. Disponível em: <https://blog.grancursosonline.com.br/mineracao-de-dados-conhecendo-o-k-means/#:~:text=O%20objetivo%20ao%20usar%20o,dados%20que%20possuem%20caracter%C3%ADsticas%20aproximadas%E2%80%9D..> Acesso em: 14 jul. 2023.

LOCKWOOD, F. E.; DALLEY R. Lubricant analysis. In: HENRY, S. D. et al. **ASM HANDBOOK: FRICTION, LUBRICATION, AND WEAR TECHNOLOGY**. Metals Park: The Materials Information Society, 1992. v.18, p.299-312.

LUZZI, Felipe de Oliveira. **Óptica da Fotografia**. 40 f. - Curso de Ensino de Ciências, Instituto Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2017.

MAZER, Wellington; GASPAR, Anete. **ESTUDO DE TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS PARA RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS EM CONCRETOS ATRAVÉS DA ESPECTROFOTOMETRIA**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 2, p. 16309-16318, 2021.

MENDES, Marcus Fabiano de Almeida. **Espectrofotometria**. Disponível em: https://www.ufrgs.br/leo/site_espec/bibliografia.html. Acesso em: 05 set. 2022.

MONTEIRO, Denise dos Santos. **INVESTIGAÇÃO DA PRESENÇA DE HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS E ALGUNS METAIS, NÃO METAIS E SEMIMETAIS CONTAMINANTES EM POÇOS FREÁTICOS AO NORTE DO RECÔNCAVO DA BAHIA**. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Medicina, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

MOREIRA, Alex Ferreira; SANTOS, Sérgio Ricardo Bezerra dos; COSTA JUNIOR, Ademar Gonçalves da. **CONSTRUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM FOTÔMETRO DESTINADO AO USO DE AULAS EXPERIMENTAIS DE QUÍMICA SOBRE A LEI DE BEER-LAMBERT**. *HOLOS*, [S.L.], v. 2, p. 142-151, 20 abr. 2016. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2016.4016>.

MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N. L. **MANUTENÇÃO: CUSTOS DA NAO-EFICÁCIA - A VEZ DO BRASIL**. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1993.

NUNES FILHO, Marcos Rogério Vieira. **MANUTENÇÃO PREDITIVA: ANÁLISE E PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO EM REDUTORES DE VELOCIDADE APÓS TESTE DE FLUIDO LUBRIFICANTE**. 2022. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará, Russas - Ce, 2022.

OHWEILER, O. A. **Química Analítica Quantitativa**. Rio de Janeiro: LTC, 1976

P., Christy. **THE HISTORY OF SPECTROPHOTOMETRY**. Disponível em: <https://sciencing.com/history-spectrophotometry-6595173.html>. Acesso em: 29 set. 2022.

PASSOS, Elisangela de Andrade. **ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO MOLECULAR NA REGIÃO DO UV-VIS**. São Paulo: Aula, 2012.

PEREIRA, Flávio Marcos de Melo. **ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE EM MOTORES ALIMENTADOS COM BIODIESEL B100**. 2015. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

PETROBRAS. Disponível em: <https://www.petrobras.com.br>. Acesso em: 06 julho 2023.

PINTO, M. C. **APLICAÇÃO DE ARQUITETURA PEDAGÓGICA EM CURSO DE ROBÓTICA EDUCACIONAL COM HARDWARE LIVRE**. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Informática, UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

PONTES, Aline Santos de et al. **DESENVOLVIMENTO DE UM FOTÔMETRO LED-VIS PORTÁTIL E MICROCONTROLADO POR ARDUINO**. 2014.

PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues do. **As técnicas e os instrumentos usados na análise de óleo lubrificante**. Disponível em: <https://qualidadeonline.wordpress.com/2010/11/29/as-tecnicas-e-os-instrumentos-usados-na-analise-de-oleo-lubrificante/>. Acesso em: 12 jul. 2023.

ROCHA, João Carlos. **COR LUZ, COR PIGMENTO E OS SISTEMAS RGB E CMY**. Artigo. Revista Belas Artes, 2010.

SANTOS, Diego de Sena. **PLANO DE ILUMINAÇÃO EXTERNA DA UNESP**

SANTOS, Luiz Ricardo dos. **Espectrofotometria**. Disponível em: <https://www.infoescola.com/quimica/espectrofotometria/>. Acesso em: 05 set. 2022.

SILVA JÚNIOR, José Jorge da. **ANÁLISE DE ÓLEOS LUBRIFICANTES SOB A ÓTICA DA TERMOGRAFIA EM ENSAIOS DE ATRITO CISALHANTE**. 167 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2017.

SILVA, Claudia R; CARVALHO, Maria W. N. C; CONRADO, Líbia de s; FOOK, Marcus V. L; LEITE, Krsthianna P. dos s. **CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E DIELETRICA DE ÓLEOS BIODEGRADÁVEIS PARA TRANSFORMADORES ELÉTRICOS.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 229-234, fev. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662012000200015>

SILVEIRA, Eva Lúcia Cardoso; COELHO, Ronaldo Cunha; MOITA NETO, José Machado. **DETERMINAÇÃO DE METAIS EM ÓLEOS LUBRIFICANTES, PROVENIENTES DE MOTORES DE ÔNIBUS URBANO, UTILIZANDO A FAAS.** *Química Nova*, São Paulo, v. 33, n. 9, 2010.

SILVEIRA, Laise Dias. **AVALIAÇÃO DOS TEORES DE METAIS EM ÓLEO USADO EM MOTORES DE MOTOCICLETAS.** 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Ciência Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2019.

SKOOG, Douglas *et al.* **Princípios De Análise Instrumental.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda., 2006.

SPEIGHT, James G. **THE CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF PETROLEUM.** 5. ed. New York: Crc Press, 2014.

TAOS. Datasheet: **TCS3200, TCS3210 PROGRAMMABLE COLOR LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER.** Copyright, 2011.

TEXACO. **Fundamentos de lubrificação.** Rio de Janeiro: Departamento de Tecnologia da Texaco Brasil Ltda, 2005.

TILLMANN, Carlos Antônio da Costa. **MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA E SEUS SISTEMAS.** Pelotas – RS: Instituto Federal de Educação, ciência e Tecnologia (IFBA), 2013

VINADÉ, Maria Elisabeth do Canto *et al.* **MÉTODOS ESPECTROSCÓPICOS DE ANÁLISE QUANTITATIVA**. Santa Maria: Editora UFSM, 2005.

VII CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, São Luiz. **Detecção de falhas em equipamentos industrial através de análise ferrográfica**. Minas Gerais: ABCM, 2012.

YOUNG, Hugh D; FREEDMAN, Roger A. **Física III - Eletromagnetismo**. São Paulo: Pearson, 2009.

ZMOZINSKI. A. V., A. JESUS, M. G. R. VALE e M. M. SILVA, “**DETERMINATION OF CALCIUM, MAGNESIUM AND ZINC IN LUBRICATING OILS BY FLAME ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY USING A THREE-COMPONENT SOLUTION**”, *Talanta*, vol. 83, pp. 637-643, 2010

ANEXOS

Anexo A

```
pinMode(out, INPUT);

Serial.begin(9600);

digitalWrite(s0, HIGH);
digitalWrite(s1, LOW);
}

void loop()
{
  setColor(255, 0, 0);
  GetColors();
  Serial.print("Emite:");
  Serial.print("(");
  Serial.print(Red);
  Serial.print(",");
  Serial.print(Green);
  Serial.print(",");
  Serial.print(Blue);
  Serial.println(")");
  delay(5000);

  setColor(Red,Green,Blue);
#define s0 3
#define s1 2
#define s2 5
#define s3 6
#define out 4
#define COMMON_ANODE

int Red=0, Blue=0, Green=0;
int pinoR = 10;
int pinoG = 9;
int pinoB = 8;

void setup()
{

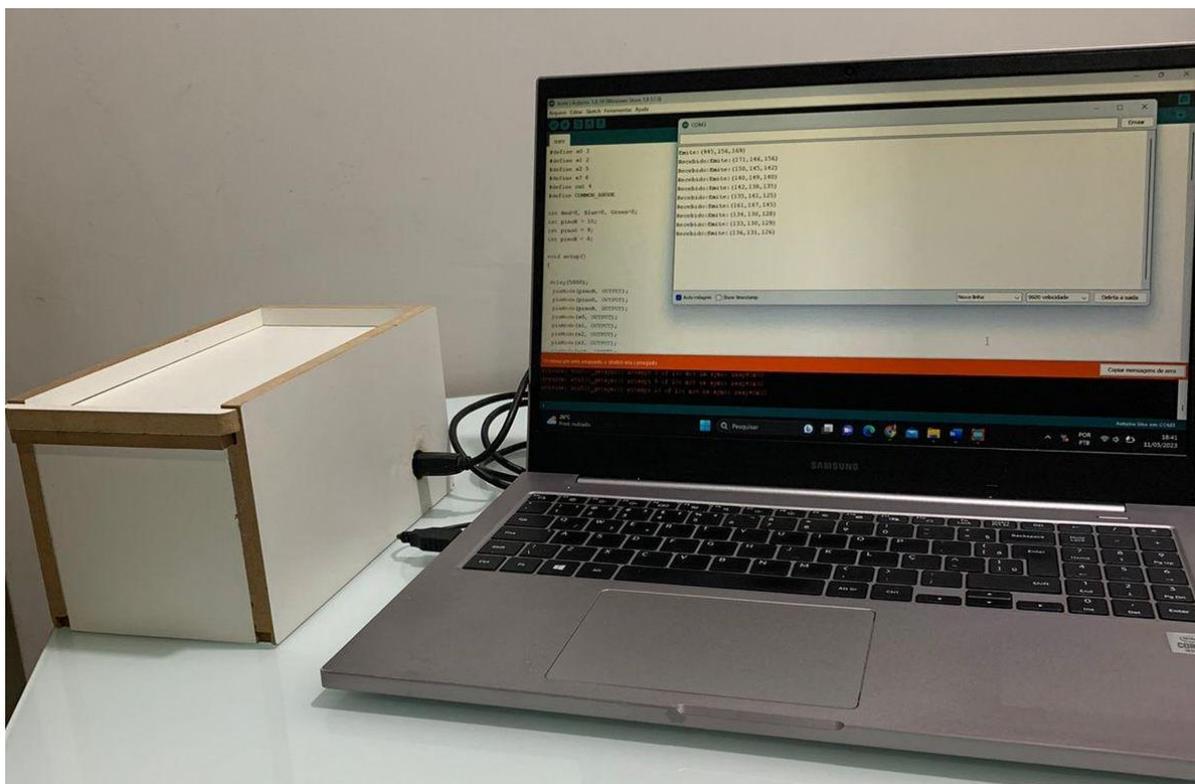
  delay(5000);
  pinMode(pinoR, OUTPUT);
  pinMode(pinoG, OUTPUT);
  pinMode(pinoB, OUTPUT);
  pinMode(s0, OUTPUT);
  pinMode(s1, OUTPUT);
  pinMode(s2, OUTPUT);
  pinMode(s3, OUTPUT);
```

```
Serial.print("Recebido:");  
delay(5000);  
}  
void GetColors ()  
{  
    digitalWrite(s2, LOW);  
    digitalWrite(s3, LOW);  
    Red = pulseIn(out, digitalRead(out) == HIGH ? LOW : HIGH);  
    delay(20);  
    digitalWrite(s3, HIGH);  
    Blue = pulseIn(out, digitalRead(out) == HIGH ? LOW : HIGH);  
    delay(20);  
    digitalWrite(s2, HIGH);  
    Green = pulseIn(out, digitalRead(out) == HIGH ? LOW : HIGH);  
    delay(20);  
}  
  
void setColor(int vermelho, int verde, int azul){  
  
    #ifdef COMMON_ANODE  
    #endif  
    analogWrite(pinoR, Red);  
    analogWrite(pinoG, Green);  
    analogWrite(pinoB, Blue);  
}
```

Anexo B

Troca	Motocicleta	Km	Zn	Fe	Cu	Mn	Cr	Al
Zero	Biz 125	0	53±2	10,6±0,1	0,063±0,004	0,10±0,01	0,080±0,003	0,7±0,3
	Pop 100	0	83,2±0,4	0,56±0,08	ND	0,048±0,002	0,063±0,001	0,415±0,007
	Titan 150	0	58±2	3,0±0,1	2,83±0,03	0,096±0,006	0,069±0,002	2,19±0,04
Segunda	Fazer 150	0	50±2	3,7±0,2	4,75±0,05	0,120±0,004	0,096±0,004	2,3±0,1
	Biz 125	501	90±2	3,49±0,02	ND	0,051±0,001	0,062±0,002	0,70±0,05
	Pop 100	346	90±2	1,32±0,09	ND	0,049±0,001	0,0774±0,0003	0,80±0,07
	Titan 150	*	94±2	0,47±0,02	ND	0,0697±0,0005	0,064±0,003	0,82±0,01
Quarta	Fazer 150	125	93±1	0,37±0,02	0,04±0,01	0,071±0,004	0,068±0,002	0,60±0,03
	Biz 125	1054	105±1	3,74±0,06	ND	0,049±0,002	0,060±0,001	0,361±0,003
	Pop 100	1312	92,8±0,9	6,3±0,2	0,0385±0,0006	0,08409±0,0006	0,105±0,001	1,95±0,06
	Titan 150	265	93±2	1,22±0,05	0,0050±0,0007	0,06836±0,002	0,067±0,002	1,54±0,02
	Fazer 150	585	61,6±0,9	0,43±0,03	0,02811±0,00008	0,05524±0,0008	0,060±0,002	0,57±0,07

Anexo C



Anexo D

Dados das coordenadas da troca zero

	R	G	B	xV	Coordenadas trifásicas			X	Y
1	207	192	205	0,42	87,39238	81,0596	86,54801	127,0778	70,19968
2	211	190	199	0,43	89,675	80,75	84,575	124,95	69,93155
3	217	192	203	0,42	90,41667	80	84,58333	124,5833	69,28203
4	242	206	216	0,38	92,93675	79,11145	82,95181	122,5075	68,51252
5	213	194	201	0,42	89,33388	81,36513	84,30099	124,9836	70,46427
6	208	184	195	0,43	90,35775	79,93186	84,71039	124,6763	69,22302
7	200	193	194	0,43	86,88245	83,84157	84,27598	126,1968	72,60893
8	219	196	203	0,41	90,36408	80,87379	83,76214	124,199	70,03875
9	226	199	200	0,41	92,208	81,192	81,6	122,196	70,31433
10	203	193	195	0,43	87,58883	83,27411	84,13706	125,7741	72,1175
11	202	193	195	0,43	87,30508	83,41525	84,27966	125,9873	72,23973
12	204	184	195	0,44	89,22813	80,48027	85,2916	125,5317	69,69796
13	226	205	217	0,39	88,93519	80,6713	85,39352	125,7292	69,86339
14	211	201	199	0,42	88,06056	83,88707	83,05237	124,9959	72,64833
15	204	190	190	0,44	89,07534	82,96233	82,96233	124,4435	71,84748
16	195	189	197	0,44	85,5852	82,95181	86,46299	127,9389	71,83837
17	198	187	192	0,44	87,50433	82,64298	84,85269	126,1742	71,57092
18	211	194	200	0,42	88,93388	81,7686	84,29752	125,1818	70,81368
19	224	207	215	0,39	88,42105	81,71053	84,86842	125,7237	70,76339
20	211	196	192	0,43	89,82471	83,43907	81,73623	123,4558	72,26035
21	202	181	191	0,44	89,73868	80,40941	84,85192	125,0566	69,63659
22	200	181	184	0,45	90,26549	81,69027	83,04425	123,8894	70,74585
23	247	205	218	0,38	94,00746	78,02239	82,97015	121,9813	67,56937
24	212	198	196	0,42	89,20792	83,31683	82,47525	124,1337	72,15449
25	201	192	197	0,43	86,87288	82,98305	85,14407	126,6356	71,86543
26	204	193	198	0,43	87,42857	82,71429	84,85714	126,2143	71,63267
27	198	180	188	0,45	89,20495	81,09541	84,69965	125,2473	70,23068
28	202	188	185	0,44	89,58261	83,37391	82,04348	123,7304	72,20393
29	231	204	219	0,39	90,06881	79,54128	85,38991	125,1606	68,88477
30	207	207	205	0,41	85,27464	85,27464	84,45073	127,088	73,85
1	204	195	168	0,45	91,74603	87,69841	75,55556	119,4048	75,94905
2	203	193	166	0,45	92,10854	87,57117	75,32028	119,1059	75,83886
3	224	193	171	0,43	97,14286	83,69898	74,15816	116,0077	72,48544
4	227	221	192	0,40	90,44531	88,05469	76,5	120,5273	76,2576
5	209	194	172	0,44	92,68696	86,03478	76,27826	119,2957	74,50831
6	206	197	163	0,45	92,80919	88,75442	73,4364	117,8136	76,86358
7	204	195	167	0,45	91,90813	87,85336	75,23852	119,1652	76,08324
8	203	193	166	0,45	92,10854	87,57117	75,32028	119,1059	75,83886
9	213	186	167	0,45	95,9629	83,79859	75,23852	117,1378	72,5717
10	226	195	178	0,43	96,21035	83,01336	75,77629	117,283	71,89167

11	233	203	189	0,41	95,064	82,824	77,112	118,524	71,72769
12	220	216	185	0,41	90,33816	88,69565	75,96618	120,314	76,81269
13	203	200	174	0,44	89,71404	88,38821	76,89775	121,0919	76,54644
14	205	195	169	0,45	91,8717	87,39016	75,73814	119,4332	75,6821
15	203	194	167	0,45	91,78191	87,71277	75,50532	119,3617	75,96148
16	204	187	166	0,46	93,39318	85,61041	75,99641	118,8016	74,14079
17	228	195	172	0,43	97,71429	83,57143	73,71429	115,5	72,37498
18	220	220	191	0,40	88,9065	88,9065	77,187	121,6403	76,99529
19	210	204	174	0,43	91,07143	88,46939	75,45918	119,6939	76,61674
20	207	200	171	0,44	91,32353	88,23529	75,44118	119,5588	76,41401
21	205	189	167	0,45	93,18182	85,90909	75,90909	118,8636	74,39946
22	197	194	167	0,46	90,02688	88,65591	76,3172	120,6452	76,77827
23	206	192	166	0,45	93,1383	86,80851	75,05319	118,4574	75,17838
24	229	187	175	0,43	98,80711	80,68528	75,50761	115,8503	69,8755
25	233	214	184	0,40	94,16006	86,48177	74,35816	117,599	74,89541
26	205	203	173	0,44	89,97418	89,09639	75,92943	120,4776	77,15973
27	200	197	169	0,45	90,10601	88,75442	76,13958	120,5168	76,86358
28	204	194	168	0,45	91,90813	87,40283	75,68905	119,3905	75,69307
29	171	194	161	0,48	82,89924	94,04943	78,05133	125,076	81,4492
30	199	194	166	0,46	90,77818	88,49732	75,72451	119,9732	76,64092
1	202	200	175	0,44	89,2721	88,38821	77,33969	121,5338	76,54644
2	202	199	175	0,44	89,42708	88,09896	77,47396	121,5234	76,29594
3	214	203	179	0,43	91,5604	86,85403	76,58557	120,0126	75,21779
4	225	220	192	0,40	90,07064	88,06907	76,86028	120,8948	76,27006
5	210	204	176	0,43	90,76271	88,16949	76,0678	120,1525	76,35702
6	209	200	175	0,44	91,25856	87,32877	76,41267	120,0771	75,62893
7	209	193	174	0,44	92,52604	85,44271	77,03125	119,7526	73,99556
8	242	211	187	0,40	96,42188	84,07031	74,50781	116,543	72,80703
9	222	207	174	0,42	93,8806	87,53731	73,58209	117,3507	75,80954
10	204	195	169	0,45	91,58451	87,54401	75,87148	119,6435	75,81534
11	202	200	174	0,44	89,42708	88,54167	77,03125	121,3021	76,67933
12	210	199	174	0,44	91,85249	87,04117	76,10635	119,6269	75,37986
13	239	228	200	0,38	91,37181	87,16642	76,46177	120,045	75,48833
14	213	201	180	0,43	91,43939	86,28788	77,27273	120,4167	74,7275
15	211	198	177	0,44	91,81741	86,16041	77,02218	120,1024	74,6171
16	207	199	173	0,44	91,1658	87,64249	76,19171	120,013	75,90062
17	233	211	194	0,40	93,12696	84,33386	77,53918	119,7061	73,03526
18	218	216	181	0,41	90,39024	89,56098	75,04878	119,8293	77,56208
19	205	195	178	0,44	90,44118	86,02941	78,52941	121,5441	74,50366
20	206	199	174	0,44	90,72539	87,64249	76,63212	120,4534	75,90062
21	208	198	173	0,44	91,60622	87,20207	76,19171	119,7927	75,51921
22	241	231	202	0,38	91,17953	87,39614	76,42433	120,1224	75,68728
23	210	201	175	0,44	91,38225	87,46587	76,15188	119,8848	75,74767
24	209	201	175	0,44	91,10256	87,61538	76,28205	120,0897	75,87715
25	208	193	174	0,44	92,24348	85,5913	77,16522	119,9609	74,12424

26	214	192	167	0,45	95,2356	85,44503	74,31937	117,0419	73,99756
27	238	225	200	0,38	91,53846	86,53846	76,92308	120,1923	74,94451
28	206	208	179	0,43	88,58347	89,44351	76,97302	121,6948	77,46035
29	213	205	179	0,43	90,9799	87,56281	76,45729	120,2387	75,83162
30	208	200	173	0,44	91,29088	87,77969	75,92943	119,8193	76,01944
1	210	203	177	0,43	90,76271	87,73729	76,5	120,3686	75,98272
2	208	195	176	0,44	91,60622	85,88083	77,51295	120,4534	74,37498
3	201	200	169	0,45	89,92105	89,47368	75,60526	120,3421	77,48648
4	206	198	173	0,44	91,03986	87,50433	76,45581	120,208	75,78098
5	233	231	189	0,39	90,98775	90,20674	73,80551	118,9089	78,12133
6	210	203	177	0,43	90,76271	87,73729	76,5	120,3686	75,98272
7	208	201	176	0,44	90,66667	87,61538	76,71795	120,5256	75,87715
8	207	199	174	0,44	91,00862	87,49138	76,5	120,2457	75,76976
9	207	191	167	0,45	93,42478	86,20354	75,37168	118,4735	74,65446
10	242	227	199	0,38	92,38024	86,65419	75,96557	119,2927	75,04473
11	206	207	180	0,43	88,58347	89,01349	77,40304	121,9098	77,08794
12	210	207	179	0,43	89,84899	88,56544	76,58557	120,8683	76,69992
13	208	202	176	0,44	90,51195	87,90102	76,58703	120,5375	76,12452
14	207	193	168	0,45	92,93134	86,64613	75,42254	118,7456	75,03775
15	201	198	174	0,45	89,45026	88,11518	77,43455	121,4921	76,30999
16	223	198	181	0,42	94,46013	83,87043	76,66944	118,6047	72,63392
17	229	220	195	0,40	90,67547	87,1118	77,21273	120,7686	75,44103
18	209	203	177	0,43	90,48387	87,88625	76,62988	120,573	76,11172
19	208	196	175	0,44	91,60622	86,32124	77,07254	120,2332	74,75639
20	201	199	174	0,44	89,29443	88,40592	77,29965	121,5026	76,56178
21	207	198	174	0,44	91,1658	87,20207	76,63212	120,2332	75,51921
22	238	213	192	0,40	94,38569	84,47123	76,14308	118,3787	73,15423
23	217	217	185	0,41	89,39418	89,39418	76,21163	120,9087	77,41763
24	210	210	173	0,43	90,30354	90,30354	74,39292	119,5447	78,20516
25	203	201	176	0,44	89,25	88,37069	77,37931	121,5647	76,53126
26	200	199	174	0,45	89,00524	88,56021	77,43455	121,7147	76,69539
27	210	197	174	0,44	92,16867	86,46299	76,36833	119,5998	74,87915
28	238	223	201	0,39	91,67674	85,89879	77,42447	120,3739	74,39054
29	212	205	179	0,43	90,7047	87,70973	76,58557	120,4404	75,95886
30	209	199	175	0,44	91,41509	87,04117	76,54374	120,0643	75,37986

Dados das coordenadas da troca dois

	R	G	B	xV	Coordenadas trifásicas			X	Y
1	194	175	179	0,47	90,27372	81,43248	83,2938	124,01	70,5226
2	204	170	170	0,47	95,625	79,6875	79,6875	119,5313	69,0114
3	209	174	178	0,45	95	79,09091	80,90909	120,4545	68,49474
4	241	192	195	0,41	97,85828	77,96178	79,17994	118,1608	67,51688
5	190	173	170	0,48	90,90056	82,76735	81,33208	122,7158	71,67863
6	182	171	177	0,48	87,56604	82,27358	85,16038	126,2972	71,25101
7	184	168	171	0,49	89,71319	81,91205	83,37476	124,3308	70,93791
8	181	165	168	0,50	89,79572	81,85798	83,3463	124,2753	70,89109
9	220	186	189	0,43	94,28571	79,71429	81	120,8571	69,0346
10	205	182	181	0,45	92,03345	81,70775	81,2588	122,1127	70,76098
11	191	180	175	0,47	89,2033	84,06593	81,73077	123,7637	72,80323
12	184	170	171	0,49	89,37143	82,57143	83,05714	124,3429	71,50895
13	186	169	171	0,48	90,1711	81,92966	82,89924	123,8641	70,95316
14	185	163	169	0,49	91,24758	80,39652	83,3559	123,5542	69,62543
15	210	174	172	0,46	96,31295	79,80216	78,88489	118,786	69,1107
16	219	190	190	0,43	93,23038	80,88481	80,88481	121,3272	70,0483
17	191	172	193	0,46	87,59892	78,88489	88,51619	127,9586	68,31632
18	183	174	162	0,49	89,91329	85,49133	79,59538	122,341	74,03766
19	189	170	171	0,48	90,93396	81,79245	82,27358	123,1698	70,83434
20	183	169	162	0,50	90,78794	83,84241	80,36965	122,2909	72,60966
21	199	173	187	0,46	90,77818	78,91771	85,30411	124,763	68,34474
22	200	179	180	0,46	91,23435	81,65474	82,11091	122,9383	70,71508
23	213	187	189	0,43	92,21562	80,95925	81,82513	122,3048	70,11277
24	192	165	170	0,48	92,90323	79,83871	82,25806	122,1774	69,14235
25	194	172	169	0,48	92,46729	81,98131	80,5514	121,5421	70,9979
26	184	171	170	0,49	89,37143	83,05714	82,57143	124,1	71,9296
27	190	175	169	0,48	90,73034	83,56742	80,70225	122,486	72,3715
28	227	193	197	0,41	93,81686	79,76499	81,41815	121,3006	69,07851
29	186	171	169	0,48	90,1711	82,89924	81,92966	123,3793	71,79285
30	192	176	176	0,47	90	82,5	82,5	123,75	71,4471
1	192	185	181	0,46	87,74194	84,54301	82,71505	124,9866	73,2164
2	191	182	176	0,46	88,71585	84,53552	81,74863	124,0164	73,20991
3	192	176	172	0,47	90,66667	83,11111	81,22222	122,7778	71,97633
4	242	208	206	0,39	94,07012	80,85366	80,07622	120,503	70,02132
5	204	187	180	0,45	91,10333	83,51138	80,38529	122,141	72,32298
6	189	196	179	0,45	85,45213	88,61702	80,93085	125,2394	76,74459
7	194	183	173	0,46	89,94545	84,84545	80,20909	122,6318	73,47832
8	195	185	174	0,46	89,75632	85,15343	80,09025	122,667	73,74503
9	226	200	198	0,41	92,35577	81,73077	80,91346	121,7788	70,78092
10	204	208	186	0,43	86,98997	88,69565	79,31438	123,6622	76,81269
11	192	175	172	0,47	90,83488	82,79221	81,37291	122,769	71,70016
12	185	183	172	0,47	87,36111	86,41667	81,22222	124,4306	74,83903

13	179	182	167	0,48	86,44886	87,89773	80,65341	124,6023	76,12166
14	221	209	207	0,40	88,46939	83,66562	82,86499	124,6978	72,45655
15	194	195	180	0,45	86,942	87,39016	80,66784	124,3629	75,6821
16	193	189	184	0,45	86,9523	85,15018	82,89753	125,4726	73,74222
17	189	186	175	0,46	87,62727	86,23636	81,13636	124,2545	74,68288
18	202	174	173	0,46	93,82514	80,81967	80,35519	120,765	69,99189
19	214	191	178	0,44	93,60206	83,54202	77,85592	119,6269	72,34952
20	212	205	203	0,41	87,19355	84,31452	83,49194	125,6492	73,01851
21	194	204	184	0,44	85	89,38144	80,61856	125,3093	77,4066
22	196	187	179	0,45	88,93238	84,84875	81,21886	123,6432	73,48118
23	187	190	168	0,47	87,49541	88,89908	78,6055	123,055	76,98886
24	191	181	172	0,47	89,53125	84,84375	80,625	123,0469	73,47684
25	196	188	174	0,46	89,56989	85,91398	79,51613	122,4731	74,40369
26	206	177	174	0,46	94,3088	81,03232	79,65889	120,175	70,17604
27	219	204	195	0,41	90,36408	84,17476	80,46117	122,5485	72,89748
28	197	200	190	0,43	85,57922	86,88245	82,53833	125,9796	75,24241
29	194	188	176	0,46	88,65591	85,91398	80,43011	123,3871	74,40369
30	199	185	171	0,46	91,43243	85	78,56757	121,0676	73,61216
1	192	178	168	0,47	91,00372	84,36803	79,62825	121,8123	73,06486
2	177	159	144	0,53	94,03125	84,46875	76,5	118,7344	73,15208
3	173	157	155	0,53	90,95876	82,54639	81,49485	122,768	71,48727
4	174	155	153	0,53	92,05394	82,00207	80,94398	121,945	71,01588
5	196	169	165	0,48	94,30189	81,31132	79,38679	120,0425	70,41767
6	207	175	181	0,45	93,75666	79,26288	81,98046	121,6119	68,64367
7	178	169	162	0,50	89,17485	84,66601	81,15914	123,4921	73,32292
8	175	157	142	0,54	94,14557	84,46203	76,39241	118,6234	73,14626
9	169	156	153	0,53	90,1569	83,22176	81,62134	123,2322	72,07216
10	170	153	159	0,53	89,93776	80,94398	84,11826	124,5902	70,09955
11	165	158	157	0,53	87,65625	83,9375	83,40625	125,375	72,69201
12	174	153	158	0,53	91,48454	80,4433	83,07216	123,2938	69,66594
13	166	158	159	0,53	87,63975	83,41615	83,9441	125,6522	72,2405
14	194	155	158	0,50	97,57396	77,95858	79,46746	118,4467	67,51411
15	190	158	158	0,50	95,75099	79,62451	79,62451	119,4368	68,95684
16	207	162	172	0,47	97,56932	76,3586	81,07209	119,2514	66,12848
17	213	173	179	0,45	96,13274	78,07965	80,78761	119,8274	67,61896
18	184	154	166	0,51	93,09524	77,91667	83,9881	122,9464	67,47781
19	177	162	152	0,52	91,92464	84,13442	78,94094	121,0081	72,86254
20	174	160	157	0,52	90,3666	83,09572	81,53768	123,0855	71,96301
21	179	156	153	0,52	93,53484	81,51639	79,94877	120,707	70,59527
22	175	156	146	0,53	93,55346	83,39623	78,05031	119,7484	72,22325
23	205	170	164	0,47	96,98516	80,42672	77,58813	117,8015	69,65158
24	200	177	174	0,46	92,55898	81,9147	80,52632	121,4837	70,94021
25	185	170	159	0,50	91,78016	84,33852	78,88132	121,0506	73,0393
26	174	165	159	0,51	89,09639	84,48795	81,41566	123,6596	73,16871
27	175	161	156	0,52	90,70122	83,44512	80,85366	122,5762	72,2656

28	179	157	154	0,52	93,15306	81,70408	80,14286	120,9949	70,75781
29	179	155	151	0,53	94,1134	81,49485	79,39175	120,1392	70,57661
30	191	163	158	0,50	95,12695	81,18164	78,69141	119,2822	70,30536
1	184	172	164	0,49	90,23077	84,34615	80,42308	122,5962	73,04591
2	177	170	160	0,50	89,02367	85,50296	80,47337	123,2249	74,04773
3	174	165	165	0,51	88,03571	83,48214	83,48214	125,2232	72,29766
4	179	160	158	0,51	91,84105	82,09256	81,0664	122,1127	71,09424
5	173	163	150	0,52	90,7716	85,52469	78,7037	121,466	74,06656
6	177	163	156	0,51	90,99798	83,8004	80,20161	122,1018	72,57328
7	211	171	174	0,46	96,77158	78,42626	79,80216	119,0153	67,91913
8	208	172	188	0,45	93,38028	77,21831	84,40141	123,0106	66,87302
9	185	170	175	0,48	89,00943	81,79245	84,19811	125,0943	70,83434
10	180	164	170	0,50	89,29961	81,36187	84,33852	125,0195	70,46144
11	181	162	160	0,51	91,75944	82,12724	81,11332	122,1769	71,12427
12	178	154	157	0,52	92,82209	80,30675	81,87117	122,0245	69,54768
13	193	162	156	0,50	96,31115	80,84149	77,84736	118,2681	70,01078
14	188	162	165	0,50	93,08738	80,21359	81,69903	121,8058	69,46701
15	195	163	163	0,49	95,44146	79,77927	79,77927	119,6689	69,09088
16	199	167	176	0,47	93,62546	78,57011	82,80443	122,0895	68,04371
17	214	184	181	0,44	94,2487	81,03627	79,71503	120,2332	70,17947
18	183	178	173	0,48	87,38764	85	82,61236	125,1124	73,61216
19	182	172	162	0,49	89,94186	85	80,05814	122,5581	73,61216
20	178	165	166	0,50	89,17485	82,66208	83,16306	124,4941	71,58746
21	174	167	154	0,52	89,63636	86,0303	79,33333	122,3485	74,50443
22	174	165	158	0,51	89,27565	84,65795	81,0664	123,3954	73,31593
23	177	162	156	0,52	91,18182	83,45455	80,36364	122,0909	72,27376
24	182	156	161	0,51	93,00601	79,71944	82,27455	122,1343	69,03906
25	215	180	173	0,45	96,52289	80,80986	77,66725	118,0722	69,98339
26	188	178	173	0,47	88,94249	84,2115	81,84601	123,9518	72,9293
27	183	167	166	0,49	90,43605	82,52907	82,03488	123,2994	71,47227
28	178	158	164	0,51	90,78	80,58	83,64	123,93	69,78433
29	169	164	166	0,51	86,36273	83,80762	84,82966	126,7335	72,57952
30	179	162	163	0,51	90,56548	81,96429	82,47024	123,4524	70,98315

Dados das coordenadas da troca quatro

	R	G	B	Xv	Coordenadas trifásicas			X	Y
1	211	201	168	0,44	92,76724	88,37069	73,86207	118,0474	76,53126
2	208	201	174	0,44	90,9777	87,91595	76,10635	120,0643	76,13745
3	247	225	199	0,38	93,86736	85,50671	75,62593	118,3793	74,05098
4	216	211	179	0,42	90,89109	88,78713	75,32178	119,7153	76,89191
5	215	205	176	0,43	91,98826	87,70973	75,30201	119,1569	75,95886
6	211	201	174	0,44	91,81741	87,46587	75,71672	119,4497	75,74767
7	211	201	167	0,44	92,92746	88,52332	73,54922	117,8109	76,66344
8	221	200	174	0,43	94,71429	85,71429	74,57143	117,4286	74,23075
9	242	224	197	0,38	93,07692	86,15385	75,76923	118,8462	74,61142
10	215	204	176	0,43	92,14286	87,42857	75,42857	119,1429	75,71536
11	213	203	174	0,43	92,05932	87,73729	75,20339	119,072	75,98272
12	210	200	172	0,44	92,01031	87,62887	75,36082	119,1753	75,88882
13	243	226	194	0,38	93,46154	86,92308	74,61538	118,0769	75,27759
14	213	204	175	0,43	91,74831	87,87162	75,38007	119,3159	76,09906
15	213	202	174	0,43	92,21562	87,45331	75,33107	119,0577	75,73679
16	211	194	172	0,44	93,24957	85,73657	76,01386	118,8821	74,25005
17	232	200	173	0,42	97,78512	84,29752	72,91736	115,0661	73,00379
18	233	217	191	0,40	92,69111	86,32605	75,98284	119,1459	74,76055
19	217	212	180	0,42	90,86207	88,76847	75,36946	119,7537	76,87575
20	214	206	177	0,43	91,40704	87,98995	75,60302	119,598	76,20153
21	212	203	167	0,44	92,8866	88,9433	73,1701	117,6418	77,02716
22	211	201	173	0,44	91,97436	87,61538	75,41026	119,2179	75,87715
23	220	203	184	0,42	92,42175	85,28007	77,29819	119,9382	73,8547
24	232	228	196	0,39	90,18293	88,62805	76,18902	120,503	76,75414
25	214	205	176	0,43	91,71429	87,85714	75,42857	119,3571	76,08652
26	212	202	174	0,43	91,93878	87,60204	75,45918	119,2602	75,86559
27	210	193	172	0,44	93,13043	85,5913	76,27826	119,0739	74,12424
28	213	199	166	0,44	93,97059	87,79412	73,23529	117,1324	76,03194
29	238	221	194	0,39	92,94028	86,30168	75,75804	118,9089	74,73945
30	210	207	177	0,43	90,15152	88,86364	75,98485	120,4167	76,95817
1	188	171	170	0,48	90,62382	82,42911	81,94707	123,1616	71,3857
2	187	174	163	0,49	91,00191	84,67557	79,32252	121,6603	73,3312
3	184	172	167	0,49	89,71319	83,86233	81,42447	123,3556	72,62691
4	189	168	163	0,49	92,68269	82,38462	79,93269	121,125	71,34717
5	182	167	156	0,50	91,90099	84,32673	78,77228	120,9356	73,02909
6	193	165	170	0,48	93,21023	79,6875	82,10227	121,946	69,0114
7	226	183	185	0,43	97,0202	78,56061	79,41919	118,6995	68,03548
8	203	182	178	0,45	91,94494	82,43339	80,62167	121,8384	71,38941
9	193	183	166	0,47	90,80258	86,09779	78,09963	121,1485	74,56287
10	187	171	164	0,49	91,35057	83,53448	80,11494	121,8822	72,34298
11	182	169	164	0,50	90,1165	83,67961	81,20388	123,0437	72,46867
12	185	160	170	0,50	91,60194	79,2233	84,17476	123,7864	68,60939

13	189	168	165	0,49	92,32759	82,06897	80,60345	121,6379	71,07381
14	218	179	180	0,44	96,34315	79,10745	79,54939	119,1031	68,50906
15	214	185	187	0,44	93,12287	80,50341	81,37372	121,6254	69,718
16	193	171	177	0,47	90,97043	80,60074	83,42884	123,7292	69,80229
17	185	174	162	0,49	90,54702	85,16315	79,28983	121,8714	73,75345
18	183	169	164	0,49	90,43605	83,51744	81,04651	122,8052	72,32823
19	181	166	169	0,49	89,44767	82,03488	83,51744	124,5349	71,04429
20	185	169	158	0,50	92,13867	84,16992	78,69141	120,7764	72,89329
21	193	167	169	0,48	93,03403	80,50095	81,46503	121,7155	69,71586
22	210	176	184	0,45	93,94737	78,73684	82,31579	121,6842	68,18811
23	216	180	195	0,43	93,19797	77,66497	84,13706	122,9695	67,25984
24	199	181	165	0,47	93,11009	84,68807	77,20183	119,5459	73,34202
25	190	172	167	0,48	91,5879	82,91115	80,50095	121,9565	71,80316
26	190	173	174	0,47	90,22346	82,15084	82,6257	123,7011	71,14471
27	191	176	175	0,47	89,86162	82,80443	82,33395	123,7362	71,71074
28	190	169	169	0,48	91,76136	81,61932	81,61932	122,429	70,6844
29	221	181	185	0,43	96,00511	78,62862	80,36627	119,6806	68,09438
30	213	189	194	0,43	91,13255	80,86409	83,00336	123,4354	70,03036
1	204	200	172	0,44	90,3125	88,54167	76,14583	120,4167	76,67933
2	211	202	174	0,43	91,66099	87,75128	75,58773	119,4634	75,99484
3	211	195	173	0,44	92,92746	85,88083	76,19171	119,1321	74,37498
4	213	200	174	0,43	92,52981	86,88245	75,58773	119,029	75,24241
5	230	232	201	0,38	88,46154	89,23077	77,30769	121,9231	77,27611
6	207	204	175	0,44	90,07679	88,77133	76,15188	120,5375	76,87823
7	212	204	175	0,43	91,47208	88,0203	75,50761	119,5178	76,22782
8	210	200	173	0,44	91,85249	87,47856	75,66895	119,4082	75,75865
9	233	194	178	0,42	98,20661	81,7686	75,02479	115,9091	70,81368
10	240	224	191	0,39	93,43511	87,20611	74,35878	117,9618	75,5227
11	214	206	170	0,43	92,49153	89,0339	73,47458	117,9915	77,10562
12	215	205	175	0,43	92,14286	87,85714	75	118,9286	76,08652
13	211	201	173	0,44	91,97436	87,61538	75,41026	119,2179	75,87715
14	211	199	172	0,44	92,44845	87,19072	75,36082	118,9562	75,50938
15	244	221	190	0,39	94,99237	86,03817	73,96947	116,9885	74,51124
16	217	206	179	0,42	91,9186	87,25914	75,82226	119,4518	75,56863
17	214	204	175	0,43	92,02361	87,72344	75,25295	119,1147	75,97073
18	205	200	167	0,45	91,38986	89,16084	74,4493	119,0297	77,21555
19	210	200	172	0,44	92,01031	87,62887	75,36082	119,1753	75,88882
20	232	203	176	0,42	96,82488	84,72177	73,45336	115,8142	73,3712
21	231	222	188	0,40	91,89548	88,31513	74,78939	118,947	76,48315
22	214	209	171	0,43	91,86869	89,72222	73,40909	118,2702	77,70172
23	207	202	172	0,44	90,85198	88,65749	75,49053	119,8193	76,77964
24	204	200	172	0,44	90,3125	88,54167	76,14583	120,4167	76,67933
25	212	200	172	0,44	92,56849	87,32877	75,10274	118,7671	75,62893
26	225	193	173	0,43	97,08122	83,27411	74,64467	116,2817	72,1175
27	243	225	193	0,39	93,74433	86,8003	74,45537	117,8555	75,17127

28	212	202	168	0,44	92,8866	88,50515	73,60825	117,8608	76,64771
29	206	202	174	0,44	90,25773	88,50515	76,23711	120,4897	76,64771
30	211	200	173	0,44	92,13185	87,32877	75,53938	119,2038	75,62893
1	211	202	172	0,44	91,97436	88,05128	74,97436	119	76,25465
2	209	197	169	0,44	92,68696	87,36522	74,94783	118,6304	75,6605
3	208	189	161	0,46	95,05376	86,37097	73,57527	116,7608	74,79945
4	239	220	199	0,39	92,62158	85,25836	77,12006	119,7492	73,8359
5	211	194	171	0,44	93,41146	85,88542	75,70313	118,6458	74,37895
6	209	196	163	0,45	93,82923	87,99296	73,17782	117,1743	76,20414
7	213	189	168	0,45	95,28947	84,55263	75,15789	117,4342	73,22473
8	241	199	179	0,41	99,2811	81,979	73,7399	114,7294	70,9959
9	229	217	187	0,40	92,25118	87,41706	75,33175	119,0403	75,7054
10	214	211	178	0,42	90,49751	89,22886	75,27363	119,8881	77,27446
11	212	205	168	0,44	92,41026	89,35897	73,23077	117,9103	77,38714
12	203	200	169	0,45	90,49825	89,16084	75,34091	119,9213	77,21555
13	208	197	168	0,45	92,56545	87,67016	74,7644	118,5995	75,92458
14	208	195	167	0,45	93,05263	87,23684	74,71053	118,3289	75,54932
15	228	195	164	0,43	99,046	84,71039	71,24361	113,5988	73,36135
16	234	196	179	0,42	97,9803	82,06897	74,95074	115,9852	71,07381
17	227	206	176	0,42	95,04926	86,25616	73,69458	116,8227	74,70002
18	209	197	169	0,44	92,68696	87,36522	74,94783	118,6304	75,6605
19	207	196	168	0,45	92,44308	87,53065	75,02627	118,7916	75,80376
20	218	189	168	0,44	96,67826	83,81739	74,50435	116,413	72,58799
21	235	195	176	0,42	98,88614	82,05446	74,05941	115,0866	71,06124
22	236	215	188	0,40	94,1784	85,79812	75,02347	117,9225	74,30335
23	214	210	176	0,43	90,95	89,25	74,8	119,425	77,29277
24	210	195	173	0,44	92,64706	86,02941	76,32353	119,3382	74,50366
25	210	198	163	0,45	93,78284	88,42382	72,79335	117,0053	76,57727
26	202	188	161	0,46	93,48457	87,00544	74,50998	118,0127	75,34893
27	244	225	193	0,39	93,98792	86,66918	74,3429	117,6775	75,05772
28	210	202	171	0,44	91,85249	88,35334	74,79417	118,9708	76,51624
29	211	202	171	0,44	92,13185	88,20205	74,6661	118,7671	76,38522
30	208	197	168	0,45	92,56545	87,67016	74,7644	118,5995	75,92458

Anexo E

```

import numpy as np #para manipular os vetores
from matplotlib import pyplot as plt #para plotar os gráficos
from sklearn.cluster import KMeans #para usar o KMeans

#matriz com os valores de cada medição
dataset = np.array([

### AOB0C0D0 - Kluster =2
[126,78],[135,67],[128,74],[137,73],[130,76],[138,77],[137,74],[136,73],
[128,80],[138,75],[138,76],[138,76],[130,78],[139,77],[138,76],[137,74],
[128,81],[136,74],[138,76],[138,76],[126,75],[137,77],[138,76],[137,75],
[130,84],[136,74],[140,83],[137,76],[128,77],[137,77],[137,79],[138,78],
[128,79],[137,77],[138,75],[136,77],[128,79],[138,76],[141,83],[136,74],
[128,81],[138,75],[137,78],[138,74],[128,79],[137,80],[137,74],[137,81],
[128,76],[138,75],[140,76],[137,76],[131,78],[140,74],[139,75],[137,76],
[129,80],[137,76],[138,76],[142,74],[128,80],[135,76],[138,76],[137,75],
[132,81],[137,78],[138,76],[137,76],[137,76],[130,79],[137,76],[138,78],[137,77],
[129,76],[141,83],[138,81],[137,76],[130,86],[138,76],[137,74],[136,74],
[128,76],[141,78],[138,83],[137,76],[131,78],[139,76],[139,78],[137,76],
[127,79],[138,76],[137,82],[138,78],[127,76],[138,76],[139,86],[139,81],
[127,80],[137,74],[139,75],[139,78],[128,77],[138,76],[141,79],[138,74],
[127,81],[138,77],[138,76],[136,74],[128,79],[136,78],[138,74],[140,74],
[137,76],[137,78],[137,76],[137,77],[131,78],[140,80],[137,74],[136,74]])

### I2L2M2N2 - Kluster =1
##[129,79],[133,75],[131,78],[132,78],[129,80],[129,80],[132,74],[128,78],
##[133,83],[135,78],[130,78],[132,80],[134,84],[129,76],[132,73],[131,79],
##[132,84],[133,78],[130,76],[133,81],[132,82],[133,85],[130,77],[131,81],
##[135,88],[136,79],[131,76],[134,82],[124,79],[133,83],[132,73],[135,83],
##[131,79],[131,78],[132,78],[132,77],[133,76],[132,87],[130,75],[131,81],
##[127,77],[131,79],[134,83],[132,76],[130,79],[132,85],[132,74],[133,83],
##[129,78],[133,81],[133,79],[129,76],[132,78],[129,82],[133,82],[130,83],
##[129,78],[131,83],[132,72],[131,79],[127,81],[133,78],[136,80],[134,82],
##[132,83],[131,76],[133,77],[134,76],[131,80],[131,78],[129,76],[130,75],
##[132,80],[136,79],[133,76],[132,78],[131,81],[132,80],[133,71],[133,76],
##[131,77],[131,77],[133,81],[133,85],[130,81],[134,79],[132,76],[129,77],
##[130,78],[128,79],[134,72],[128,84],[132,80],[135,84],[134,73],[133,76],
##[130,79],[129,76],[131,79],[128,78],[130,77],[132,80],[132,76],[131,76],
##[128,75],[131,78],[133,78],[135,84],[132,78],[134,78],[134,76],[132,78],
##[130,79],[129,79],[130,73],[131,76],[132,83],[131,76],[133,82],[130,81]])

### K4W4X4Z4 - Kluster =2
##[140,76],[133,85],[131,79],[138,75],[142,83],[142,80],[133,77],[143,83],
##[138,76],[130,81],[133,77],[138,77],[139,78],[138,77],[132,78],[140,85],
##[140,80],[138,75],[131,77],[139,76],[139,75],[139,76],[129,78],[141,80],
##[139,75],[138,76],[133,80],[139,77],[139,76],[139,75],[134,78],[139,77],
##[139,76],[138,78],[134,78],[140,79],[141,76],[139,76],[131,81],[139,77],
##[138,76],[138,77],[131,82],[138,79],[139,76],[141,82],[131,83],[139,82],
##[141,76],[138,73],[134,86],[138,79],[137,79],[140,76],[129,84],[141,85],
##[140,80],[138,74],[132,80],[141,77],[139,75],[141,75],[136,79],[140,80],
##[140,79],[139,76],[135,76],[139,81],[139,76],[138,75],[132,79],[140,75],
##[139,77],[138,76],[133,78],[141,86],[139,76],[138,75],[130,79],[137,78],
##[139,76],[139,85],[131,77],[140,77],[137,79],[139,77],[130,78],[141,77],
##[139,76],[141,78],[128,81],[139,74],[141,78],[140,83],[131,80],[139,78],
##[141,79],[141,76],[132,80],[141,76],[139,79],[141,79],[139,76],[141,79],
##[139,76],[139,76],[134,85],[138,74],[138,74],[141,76],[139,77],[139,76],
##[139,77],[139,76],[132,82],[139,77],[138,79],[139,77],[129,80],[139,77]])

plt.scatter(dataset[:,0],dataset[:,1]) #posicionamento dos eixos x e y
plt.xlim(120, 150) #range do eixo x
plt.ylim(50, 100) #range do eixo y
plt.grid() #função que desenha a grade no gráfico

kmeans = KMeans(n_clusters = 1, #numero de clusters
init = 'random', n_init = 10, #algoritmo que define a posição dos clusters de mane
max_iter = 100) #numero máximo de iterações
pred_y = kmeans.fit_predict(dataset)
plt.scatter(dataset[:,0],dataset[:,1]) #posicionamento dos eixos x e y
plt.xlim(120, 150) #range do eixo x
plt.ylim(50, 100) #range do eixo y
plt.grid() #função que desenha a grade no nosso gráfico

print (kmeans.cluster_centers_[0],kmeans.cluster_centers_[1])

plt.scatter(kmeans.cluster_centers_[0],
kmeans.cluster_centers_[1], s = 70,
c = 'blue') #posição de cada centroide no gráfico
plt.show()

```

8 APÊNDICES

8.1. Lei de Lambert - Beer

Os pesquisadores Johann Heinrich Lambert em 1760 e August Beer em 1852, criaram um método para quantificar produtos químicos em solução, conhecido como lei Lambert-Beer (VINADÉ *et al.*, 2005).

O conceito dessa lei determina que o monocromático absorvido por uma espécie química, denominado absorvância $A(\lambda)$ é diretamente proporcional com absorvidade molar (ϵ), comprimento do caminho óptico (l) e concentração (C) (SKOOG *et al.*, 2006).

Na espectroscopia de absorção, a absorvância (A) está logaritmicamente relacionada à transmitância de uma solução, conforme mostrado na Equação 8.1 (PASSOS, 2012).

$$A = -\log \log T \quad .(8.1)$$

A transmitância que é determinada como a fração da luz original que passou pela amostra (P_0), pelo incidente que sai do outro lado da amostra (P), conforme a Equação 8.2 (GUERREIRO, 2015).

$$A(\lambda) = -\log \left(\frac{P_0}{P} \right) \quad (8.2)$$

Assim, se nenhuma luz é absorvida ($P = P_0$), $A = 0$. Se 90% de luz é absorvida, então 10% são transmitidos e $P = P_0/10$, portanto, $A = 1$. Então, se apenas. Esse processo é devido à lei de absorção também conhecida como Lei da Beer-Lambert. (PASSOS, 2012)

Ainda segundo Passos (2012), essa lei nos diz quantitativamente como a quantidade de enfraquecimento depende da concentração de moléculas absorventes (C) e do comprimento do caminho (b) ao longo do qual a absorção ocorre. A Lei da Beer, como também é chamada, é apresentada a seguir na Equação 8.3.

$$A(\lambda) = \epsilon bc \quad .(8.3)$$

Assim, como já dito:

ε (*epsilon*) = Absortividade molar e é representada por $Lmol^{-1}cm^{-1}$, tornando-se assim uma Absorbância adimensional;

b = O comprimento do caminho é representado em cm ;

c = Concentração das moléculas é expresso por $molL^{-1}$.

A absortividade molar expressa a capacidade de uma solução absorve a luz em um comprimento de onda específica.

Para determinar a concentração de uma solução, o método de curva analítica pode ser usado. Neste método, os dados são valores de absorbância de soluções padrão contendo concentrações conhecidas analitos para construir suas respectivas curvas de análise. Graficamente, a faixa da dinâmica da curva analítica pode ser expressa na Equação 8.4, onde a correlação de sinal de absorbância analítica com a concentração do analito. (GUERREIRO, 2015)

$$A(\lambda) = \alpha C \quad (8.4)$$

De acordo Guerreiro (2015), α é a inclinação da angular da reta, onde é representado a sensibilidade análise do método. Portanto, quanto maior a inclinação da reta será a sensibilidade do método.