

# ANÁLISE DE ÓLEO SOLÚVEL POR REFRACTOMETRIA DIGITAL COM PROCESSAMENTO DE IMAGEM

## ANALYSIS OF SOLUBLE OIL BY DIGITAL REFRACTOMETRY WITH IMAGE PROCESSING

Gustavo Fernandes Costa e Silva<sup>1</sup>

### RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo para análise remota da concentração de óleo solúvel em sistemas industriais, baseado nos princípios ópticos de um refratômetro. O objetivo foi possibilitar a aferição da proporção água/óleo diretamente na máquina, eliminando a necessidade de coleta manual de amostras e utilização de refratômetros convencionais. O protótipo foi construído utilizando prisma óptico de vidro, laser, minicomputador Raspberry Pi 3, câmera de 5 MP e reservatório em acrílico para ensaios. O sistema de aquisição e processamento de imagens foi implementado em linguagem Python, permitindo a comunicação direta com a câmera e a interpretação do ângulo de refração do feixe de luz. Quando o laser atravessa a solução e o prisma, ocorre a refração, cuja linha crítica é capturada e processada pelo algoritmo, sendo comparada a um padrão previamente calibrado. Os testes realizados demonstraram que o dispositivo foi capaz de identificar variações na concentração de óleo solúvel de forma precisa e em tempo real, representando uma alternativa eficiente, segura e de baixo custo para o monitoramento de processos industriais.

**Palavras-chave:** refratômetro digital; óleo solúvel; Raspberry Pi; processamento de imagem; monitoramento remoto.

### ABSTRACT

This work presents the development of a device for remote analysis of the concentration of soluble oil in industrial systems, based on the optical principles of a refractometer. The objective was to enable measurement of the water/oil ratio directly on the machine, eliminating the need for manual sample collection and the use of conventional refractometers. The prototype was built using an optical glass prism, laser, Raspberry Pi 3 minicomputer, 5 MP camera, and an acrylic reservoir for testing. The image acquisition and processing system was implemented in Python, enabling direct communication with the camera and interpretation of the light beam refraction angle. When the laser passes through the solution and prism, refraction occurs, and the critical line is captured and processed by the algorithm, being compared to a previously calibrated standard. Tests showed that the device was able to identify variations in soluble oil concentration accurately and in real time, representing an efficient, safe, and low-cost alternative for industrial process monitoring.

**Keywords:** digital refractometer; soluble oil; Raspberry Pi; image processing; remote monitoring.

---

<sup>1</sup>Graduando em Mecatrônica Industrial na Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”. E-mail: gustavovinhedo12@gmail.com

## 1 INTRODUÇÃO

O óleo solúvel é amplamente empregado em processos de usinagem como furação, torneamento, fresagem e retificação, tanto em máquinas convencionais quanto em equipamentos CNC, sendo essencial em operações que geram altas temperaturas. Sua composição baseia-se em óleo mineral acrescido de aditivos específicos, de acordo com o processo, tendo como função principal a refrigeração, o aumento da vida útil da ferramenta e a melhoria da qualidade superficial da peça. Para uso, o óleo é diluído em água, formando uma emulsão estável cuja proporção depende da recomendação do fabricante e da aplicação.

### 1.1 Problema de pesquisa

O método tradicional de análise da concentração de óleo solúvel em processos de usinagem exige coleta manual de amostras e utilização de refratômetros convencionais, o que consome tempo, exige calibração periódica e está sujeito a falhas operacionais. Essas limitações comprometem a eficiência do processo e aumentam o risco de erros na proporção água/óleo, impactando diretamente a qualidade da usinagem e a vida útil das ferramentas.

### 1.2 Objetivo(s)

Desenvolver e validar um refratômetro digital baseado em processamento de imagem, capaz de realizar medições em tempo real da concentração de óleo solúvel diretamente na máquina, sem necessidade de coleta manual, aumentando a precisão, reduzindo custos e otimizando o tempo de operação.

### 1.3 Justificativa

A correta proporção água/óleo solúvel é determinante para a qualidade do processo de usinagem, influenciando diretamente no acabamento superficial, na refrigeração da peça e na durabilidade das ferramentas. A automatização dessa análise por meio de um refratômetro digital reduz o tempo de inspeção, minimiza custos com calibração e manutenção de refratômetros manuais e oferece maior segurança e confiabilidade aos processos industriais, alinhando-se às demandas da Indústria 4.0.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A usinagem é um dos processos mais utilizados na indústria metalúrgica para conformação de peças por meio da remoção controlada de material, podendo ser realizada em máquinas convencionais ou CNC. Durante a operação, a elevada geração de calor na zona de corte pode comprometer a qualidade superficial da peça e reduzir a vida útil das ferramentas de corte (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013).

Para mitigar esses efeitos, emprega-se o óleo solúvel, emulsão composta por óleo mineral e aditivos diluídos em água, que atua como refrigerante, lubrificante e agente de limpeza. A proporção correta de mistura é fundamental para manter a estabilidade da emulsão e assegurar a eficiência do processo (MACHADO et al., 2015). De acordo com a Quimatic Tapmatic (2021), a concentração inadequada de óleo solúvel compromete a refrigeração, a lubrificação e a proteção

contra corrosão, sendo necessário o monitoramento periódico para evitar falhas de acabamento superficial, desgaste prematuro da ferramenta e instabilidade da emulsão.

O método mais comum para a determinação da concentração do óleo solúvel é a refratometria, técnica óptica que mede o índice de refração da solução e o relaciona com sua concentração (KIRK; OTHMER, 2007). Segundo Gaspar (2009), a refração da luz ocorre devido à variação da velocidade de propagação em diferentes meios, fenômeno descrito quantitativamente pela Lei de Snell-Descartes, que estabelece a relação entre os ângulos de incidência e refração e o índice de refração de cada meio.

Esse princípio é explorado na determinação do ângulo crítico, conceito descrito por Ramalho, Ferraro e Ramalho (2010) como a condição em que um feixe luminoso, ao passar de um meio mais refringente para outro menos refringente, atinge um ângulo de refração igual a  $90^\circ$ . A medição desse ângulo possibilita determinar o índice de refração com alta precisão, como demonstrado por Dib (2015) ao aplicar técnicas de óptica ondulatória em sistemas refratométricos.

Com o avanço das tecnologias digitais e a difusão da Indústria 4.0, novas abordagens têm sido incorporadas aos sistemas de monitoramento, como refratômetros digitais e sistemas baseados em visão computacional. Essas soluções permitem medições em tempo real, redução de custos operacionais e aumento da confiabilidade no controle de qualidade (LEE; PARK, 2018). A integração de processamento de imagens e algoritmos de análise com instrumentação óptica representa um avanço significativo no controle inteligente de processos industriais, unindo automação, precisão e eficiência (RAO; PATEL, 2021).

### **3 METODOLOGIA**

A pesquisa adotou abordagem quantitativa e experimental, com foco no desenvolvimento tecnológico aplicado. O objetivo foi projetar, construir e validar um instrumento digital para medição da concentração de óleo solúvel por análise óptica, empregando processamento de imagem digital. O método segue princípios descritos por Gaspar (2009) e Ramalho, Ferraro e Ramalho (2010) para determinação de índices de refração a partir da refração da luz, adaptados ao uso com captura e análise digital de imagens, como proposto por Dib (2015).

Etapas do Desenvolvimento

#### **3.1 Levantamento de requisitos técnicos**

Foram definidos os parâmetros operacionais do refratômetro digital, incluindo estudo das concentrações ideais de óleo solúvel para diferentes operações de usinagem, análise das características de refratômetros tradicionais (manuais e digitais) e identificação das limitações do processo de medição vigente.

#### **3.2 Projeto do sistema óptico**

O sistema foi baseado no princípio da refração da luz ao atravessar a emulsão, utilizando um prisma óptico para determinar o ângulo crítico, conforme descrito por Ramalho, Ferraro e Ramalho (2010). Uma fonte luminosa (LED branco ou laser visível) incide sobre a amostra contida no prisma, gerando um feixe refratado captado por uma câmera digital de alta definição.

### 3.3 Desenvolvimento do algoritmo

Foi elaborado um algoritmo em Python (figura 1), utilizando bibliotecas de processamento de imagens, para identificar o ângulo crítico de refração e calcular o índice de refração da substância. Esse valor foi convertido em concentração percentual de óleo solúvel por meio de uma curva de calibração previamente estabelecida.

```

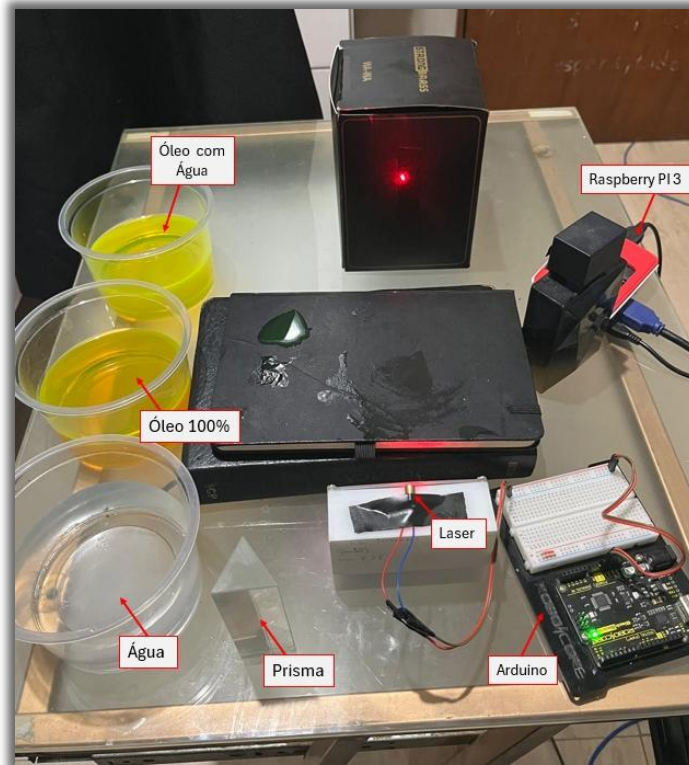
1 import numpy as np
2 import cv2
3 from picamera2 import Picamera2
4
5 # Função para detectar a linha crítica no eixo X
6 def detectar_linha_critica_x(edges):
7     # Soma os pixels em cada linha da imagem (horizontal)
8     proj_horizontal = np.sum(edges, axis=0) # Soma ao longo do eixo X
9     linha_critica_x = np.argmax(proj_horizontal) # Posição da linha crítica no eixo X
10    return linha_critica_x
11
12 # Calibração para converter a linha crítica em porcentagem de óleo
13 def calcular_percentual_oleo(linha_critica_x, min_linha_x, max_linha_x):
14     # Inverte a fórmula para que valores menores de x resultem em mais óleo (100%)
15     percentual = 100 - ((linha_critica_x - min_linha_x) / (max_linha_x - min_linha_x)) * 100
16     return max(0, min(100, percentual)) # Limita entre 0 e 100%
17
18 # Função principal
19 def main():
20     picam2 = Picamera2()
21     config = picam2.create_preview_configuration(main={"format": "XRGB8888", "size": (640, 480)})
22     picam2.configure(config)
23     picam2.start()
24
25     # Definir os valores mínimos e máximos para a calibração (ajustar conforme necessário)
26     min_linha_x = 115 # Exemplo de valor mínimo (100% de óleo)
27     max_linha_x = 150 # Exemplo de valor máximo (0% de óleo)
28
29     while True:
30         frame = picam2.capture_array()
31         gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
32         blurred = cv2.GaussianBlur(gray, (5, 5), 0)
33         edges = cv2.Canny(blurred, 50, 150)
34
35         # Detectar a linha crítica no eixo X
36         linha_critica_x = detectar_linha_critica_x(edges)
37         print(f"Linha crítica detectada em x = {linha_critica_x}")
38
39         # Verificar se a linha está dentro dos limites definidos
40         if linha_critica_x < min_linha_x or linha_critica_x > max_linha_x:
41             percentual_oleo = "Produto não identificado"
42         elif min_linha_x <= linha_critica_x <= 115:
43             percentual_oleo = "Posição inicial do laser"
44         else:
45             # Calcular a porcentagem de óleo com base na linha crítica
46             percentual_oleo = calcular_percentual_oleo(linha_critica_x, min_linha_x, max_linha_x)
47             percentual_oleo = f"{percentual_oleo:.2f}%" # Formatar como porcentagem
48
49         # Exibir a linha crítica na imagem original
50         cv2.line(frame, (linha_critica_x, 0), (linha_critica_x, frame.shape[0]), (0, 0, 255), 2)
51
52         # Exibir a porcentagem de óleo na tela
53         cv2.putText(frame, f"Status: {percentual_oleo}", (10, 30),
54                    cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, (0, 255, 0), 2)
55
56         # Exibir as imagens
57         cv2.imshow("Imagem Original", frame)
58         cv2.imshow("Detecção de Bordas", edges)
59
60         # Exibir o valor no terminal
61         print(f"Status no terminal: {percentual_oleo}")
62
63         if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
64             break
65
66     picam2.close()
67     cv2.destroyAllWindows()
68
69 if __name__ == "__main__":
70     main()
71

```

Figura 1 - Código Python

### 3.4 Construção do protótipo

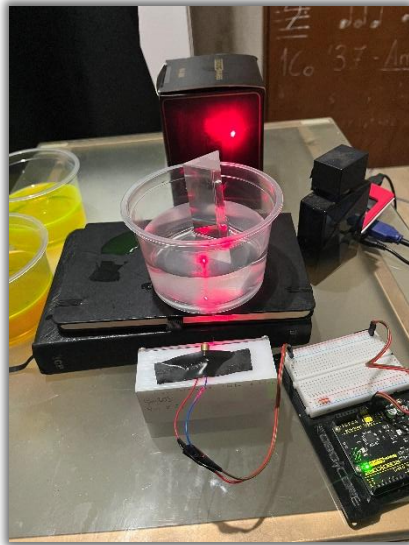
O protótipo físico foi montado com estrutura de suporte, prisma óptico, fonte luminosa, câmera e microcontrolador Raspberry Pi 3, capaz de realizar leituras e transmitir dados para interface gráfica em tempo real, conforme figura 2.



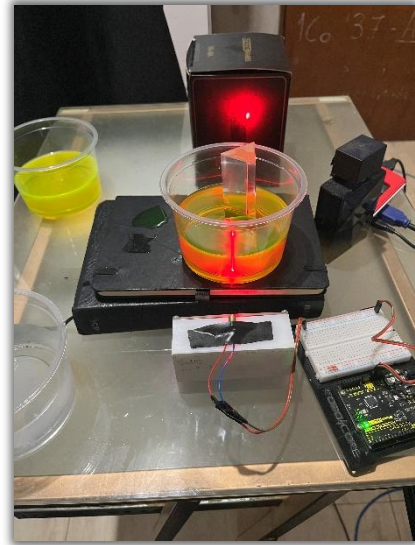
*Figura 2 - Setup de teste*

### 3.5 Calibração do equipamento

Foram separadas três amostras diferentes, uma contendo somente óleo solúvel, outra contendo somente água mineral e uma última com ambos diluídos. O ponto em que o laser atinge o corpo sem a interferência de qualquer objeto foi registrado como referência absoluta, a partir do alinhamento deste ponto com as soluções de água e óleo apenas, foi adicionado o prisma para que pudesse ser feita a referência da refração com base num intervalo do ponto entre totalmente água (figura 3) e totalmente óleo (figura 4).



*Figura 3 - Parametrização com água*



*Figura 4 - Parametrização com óleo 100%*

### 3.6 Testes de validação

O protótipo foi testado em ambiente controlado, avaliando tempo de resposta, repetibilidade, precisão e resistência mecânica.

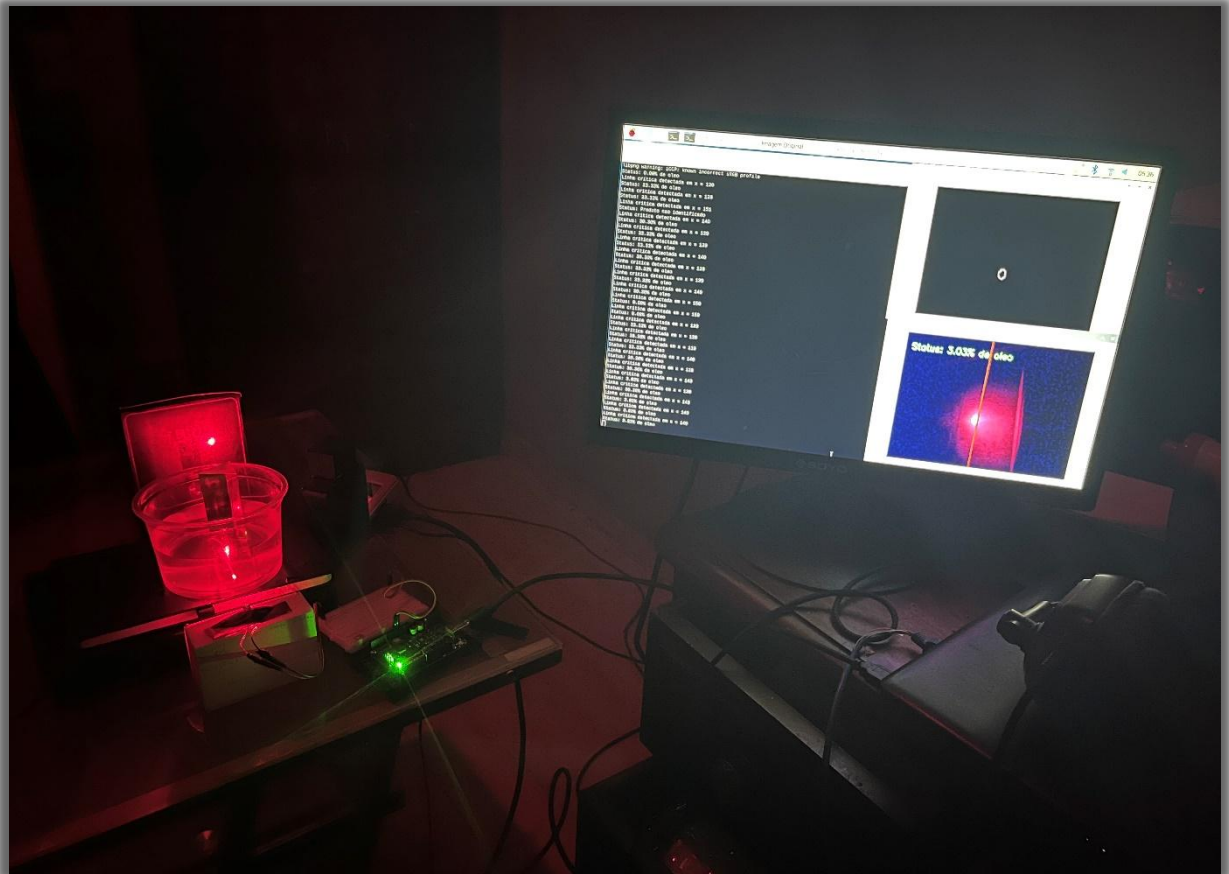
#### Materiais e equipamentos utilizados

- Módulo Câmera 5mp Raspberry Pi Ov5647 60° 3.6mm 1080p;
- Prisma de vidro óptico 100x30x30 (ângulo 60°);
- Diodo Laser 5V Arduino;
- Raspberry Pi 3;
- Software de análise em Python;
- Amostras de emulsões de óleo solúvel.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

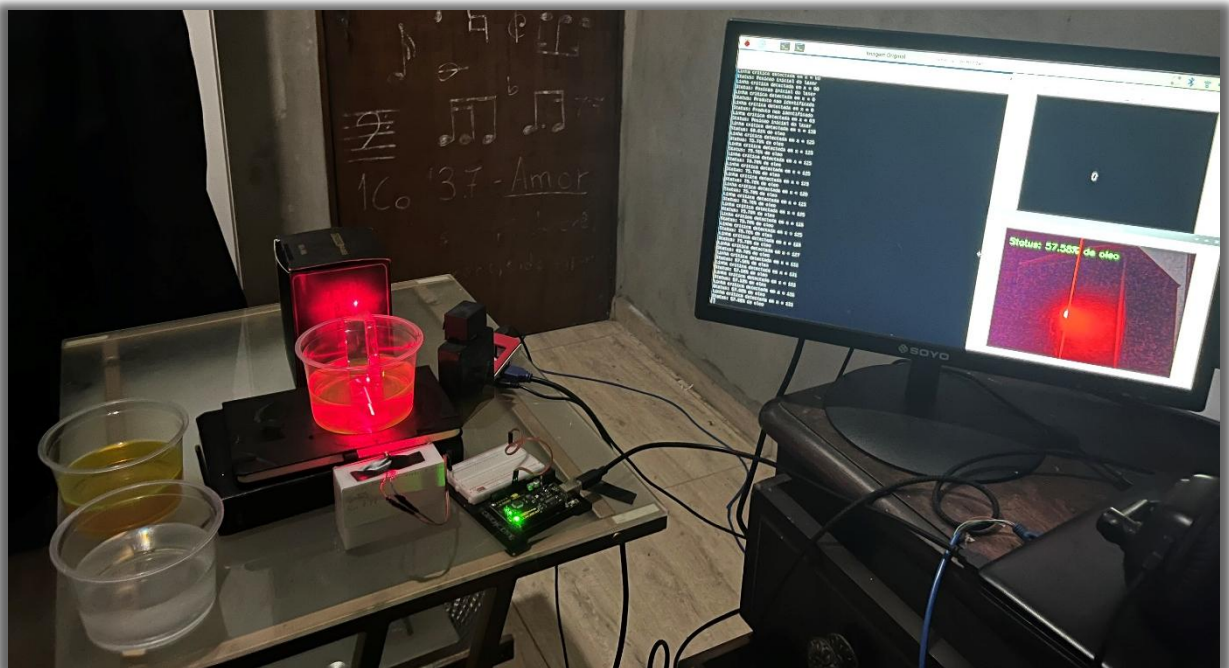
Os testes foram realizados em ambiente de baixa luminosidade, simulando as condições reais de operação nos reservatórios internos de óleo das máquinas. Essa configuração reduziu a interferência da luz ambiente e aumentou a precisão da detecção, uma vez que o sistema de visão, em conjunto com o algoritmo, é sensível à luminosidade externa.

A leitura para a amostra contendo apenas água mineral apresentou 3,03% de óleo, valor ligeiramente superior a 0% devido à presença de resíduos oleosos de testes anteriores, ainda que em quantidade mínima, demonstrando boa sensibilidade e precisão do sistema (Figura 5).



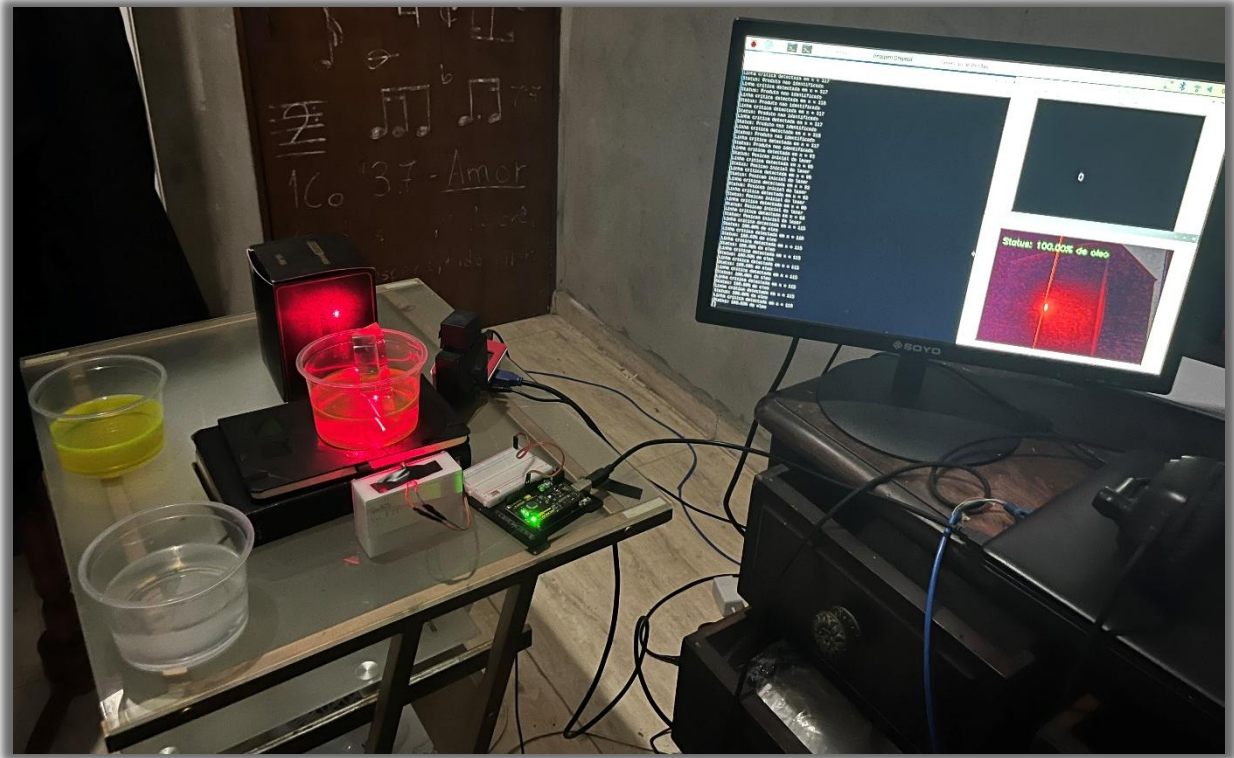
*Figura 5 - Leitura com água*

Para a amostra contendo óleo em sua concentração máxima, o protótipo identificou corretamente 100% de óleo, validando a capacidade do equipamento de medir o limite superior de concentração (Figura 6).



*Figura 6 - Leitura com óleo 100%*

Por fim, a mistura homogênea de óleo e água apresentou leitura de 57,58%, valor condizente com a proporção previamente preparada e com as medições realizadas por refratômetro de referência (Figura 7). Esse resultado reforça a confiabilidade do método e sua aplicabilidade prática para medições intermediárias.



*Figura 7 - Leitura com solução de água e óleo solúvel*

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do refratômetro digital proposto demonstrou a viabilidade técnica de um sistema óptico de medição baseado em processamento de imagens para determinação da concentração de óleo solúvel. O protótipo apresentou resultados consistentes e próximos aos obtidos com equipamentos comerciais, comprovando sua precisão e confiabilidade.

A integração entre hardware e software permitiu medições rápidas e automáticas, com análise imediata dos dados, oferecendo ao operador informações precisas em tempo real. Além da acurácia, o equipamento apresentou potencial para automação de processos industriais, alinhando-se aos princípios da Indústria 4.0 e oferecendo uma alternativa de menor custo em relação a refratômetros comerciais importados.

O projeto também evidenciou o caráter multidisciplinar do desenvolvimento, integrando conceitos de óptica, eletrônica, mecânica e programação, e reforçando o papel do profissional técnico na criação de soluções inovadoras para o setor industrial. Como trabalhos futuros, propõe-se aprimorar o acabamento e a ergonomia do protótipo, expandir a base de calibração para diferentes substâncias e integrar recursos de conectividade remota, ampliando seu potencial de aplicação em linhas de produção modernas.

## REFERÊNCIAS

DIB, Luiz Felipe Gonçalves. Refratômetro pela técnica de óptica ondulatória. 2015. 66 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2015.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. *Tecnologia da Usinagem dos Materiais*. 6. ed. São Paulo: Artliber, 2013.

GASPAR, Alberto. Física: volume único. 1. ed. São Paulo: Ática, 2009. Capítulo 15 – Óptica geométrica.

KIRK, R. E.; OTHMER, D. F. *Encyclopedia of Chemical Technology*. 5. ed. Hoboken: Wiley, 2007.

LEE, S.; PARK, J. Development of an image processing-based refractometer for industrial fluid monitoring. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 35, p. 486–493, 2018.

MACHADO, A. R.; ABRÃO, A. M.; COELHO, R. T.; DA SILVA, M. B. *Teoria da Usinagem dos Materiais*. São Paulo: Edgard Blücher, 2015.

QUIMATIC TAPMATIC. Índice de refração do óleo solúvel para usinagem: quando medir? Blog Quimatic Tapmatic, 3 mar. 2021. Disponível em: acesso em 17 de maio de 2024. [quimatic.com.br+2quimatic.com.br+2usinagem-brasil.com.br+2](http://quimatic.com.br+2quimatic.com.br+2usinagem-brasil.com.br+2)

RAMALHO, Fernando; FERRARO, Newton; RAMALHO, Suely. Física 2: Ondas, óptica e termodinâmica. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010.

RAO, S.; PATEL, R. Optical sensing and automation in industrial fluid concentration measurement. *Measurement*, v. 168, p. 108–120, 2021.

SANTOS, L. F. et al. Limitações operacionais de refratômetros manuais na indústria metalmeccânica. *Revista Brasileira de Engenharia de Fabricação*, v. 9, n. 3, p. 45–53, 2020.

## AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de agradecer ao SENAI São Paulo por sua assistência e participação no Grupo de Pesquisa em Engenharia Elétrica, Eletrônica, Automação e Reindustrialização, ao professor Alyson Jeferson dos Santos que auxiliou no processo geral e ao professor Saulo Boni Marques pelos ensinamentos na área de matemática aplicada aos quais foram de suma importância para a realização do projeto.

## SOBRE O(S)AUTOR(ES)

### Sobre o autor:

---

#### **Gustavo Fernandes Costa e Silva (Autor 1)**



Possui formação profissional em Eletricista de Manutenção Eletroeletrônica (2022) e Mecânico de Manutenção (2024), graduação em Técnico de Mecânica (2025), cursando atualmente a Graduação em Mecatrônica Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange” (2025). Tem experiência na área de Eletroeletrônica, com ênfase em Projetos de Máquinas. É eletricista montador de máquinas em geral na empresa OPTIMA Machinery Brazil Ltda. responsável pelo planejamento, montagem, gestão de equipe e comissionamento de máquina.