

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**HENRIQUE PERON**

**DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO PARA AVALIAÇÃO AUTOMÁTICA DO  
TESTE DE ALIZAROL EM LEITE CRU**

**MEDIANEIRA**

**2022**

**HENRIQUE PERON**

**DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO PARA AVALIAÇÃO AUTOMÁTICA DO  
TESTE DE ALIZAROL EM LEITE CRU**

**Equipment development for automatic evaluation of the alizarol test in raw milk**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador (a): Alex Lemes Guedes.

**MEDIANEIRA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**HENRIQUE PERON**

**DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO PARA AVALIAÇÃO AUTOMÁTICA DO  
TESTE DE ALIZAROL EM LEITE CRU**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Elétrica da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Data de aprovação: 09/junho/2022

---

Alex Lemes Guedes  
Mestrado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Alberto Noboru Miyadaira  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Diogo Marujo  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**MEDIANEIRA**

**2022**

Aos meus pais dedico este trabalho, pelo  
apoio e pela paciência.

## **AGRADECIMENTOS**

Não há como negar, sempre tive muita sorte na vida, pelas pessoas que estão e estiveram ao meu redor e pela forma que sempre me incentivaram. Portanto, desde já peço desculpas, não sou poeta, não farei justiça aqui, em palavras, ao apoio que sempre tive, nem à gratidão que carrego pelas pessoas especiais que me trouxeram até aqui.

Primeiramente devo agradecer minha família, que sempre esteve presente, e que me deu todo o apoio que precisei, para que eu sempre pudesse me dedicar por inteiro ao curso.

Agradecimentos também ao meu orientador e amigo, Prof. Me. Alex Lemes Guedes, pelas oportunidades oferecidas, pelos conselhos e ensinamentos, e principalmente pelas várias horas dedicadas nestes quase 4 anos.

Agradeço em especial aos amigos do LAD, pela companhia diária, pela ajuda nos projetos, pelas conversas e fofocas, pelas risadas, e por nunca deixarem de CCDC. Vocês são realmente os caras!

Finalmente, sou grato a todos que em algum momento participaram desta jornada, e que com certeza me ajudaram a chegar até aqui.

Há uma forma de fazer isso melhor –  
encontre-a.  
Thomas Edison.

## RESUMO

Na indústria leiteira brasileira, cada vez mais tecnologia e sistemas automatizados, veem sendo empregados, porém os avanços tecnológicos não são uniformes em todas as etapas da cadeia produtiva. Atualmente, durante a coleta de leite nas propriedades rurais, é realizado o teste de alizarol para determinar a qualidade do leite, porém, a avaliação dos resultados do teste, que determina se o leite será coletado, ou condensado, é feita de maneira subjetiva, e não existe registro que permita a fiscalização do processo. Tendo em vista a importância financeira do resultado do teste, visando trazer maior confiabilidade, assim como eliminar a subjetividade envolvida na avaliação do teste de alizarol, neste trabalho foi desenvolvido um equipamento eletrônico, composto por uma Caixa de Avaliação responsável por receber uma amostra de leite, fotografá-la e enviar a foto por meio de comunicação *Bluetooth* para um aplicativo de celular capaz de realizar a avaliação automática do teste de alizarol, apresentando o resultado em cerca de 30 segundos, e possibilitando o registro dos resultados. A análise da amostra é feita segundo dois parâmetros, o primeiro sendo a tonalidade média da amostra, com a qual é possível determinar o pH da amostra, a partir da correlação linear verificada a com os testes realizados. O segundo parâmetro é a presença de grumos na amostra, que são detectados por um algoritmo que avalia a variação de cores da imagem, o algoritmo possui uma sensibilidade que pode ser regulada de acordo com testes e políticas de qualidade próprias do laticínio ou laboratório que utiliza o equipamento.

**Palavras-chave:** leite; teste de alizarol; automação; processamento de imagem.

## ABSTRACT

In the Brazilian dairy industry, more and more technology and automated systems are being used, but technological advances are not uniform at all stages of the production chain. Currently, during the milk collection on rural properties, the alizarol test is carried out to determine the quality of the milk, however, the evaluation of the test results, which determines whether the milk will be collected or condemned, is done subjectively, and there is no record that allows the inspection of the process. In view of the financial importance of the test result, aiming to bring greater reliability, as well as to eliminate the subjectivity involved in the evaluation of the alizarol test, in this work an electronic equipment was developed, composed of a Box of Evaluation responsible for receiving a sample of milk, photographing it and sending the photo through Bluetooth communication to a cell phone application capable of performing the automatic evaluation of the alizarol test, presenting the result in about 30 seconds, and allowing the results record. The analysis of the sample is carried out according to two parameters, the first being the average hue of the sample, with which it is possible to determine the pH of the sample, based on the linear correlation verified with the tests performed. The second parameter is the presence of lumps in the sample, which are detected by an algorithm that evaluates the color variation of the image, the algorithm has a sensitivity that can be regulated according to tests and quality policies specific to the dairy industry or laboratory that uses it.

**Keywords:** milk; alizarol test; automation; image processing.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Teste de Alizarol em leite bovino com diferentes valores de pH.....	18
Figura 2 - Eixos convencionais de uma imagem digital .....	19
Figura 3 - Representação digital de uma imagem monocromática .....	20
Figura 4 - Composição de imagens coloridas .....	20
Figura 5 - Representação tridimensional do modelo RGB .....	21
Figura 6 - Representação tridimensional do modelo HSV.....	22
Figura 7 - Representação de uma imagem em memória .....	22
Figura 8 - Imagem monocromática (a). Histograma da imagem a (b) .....	24
Figura 9 - Aplicação da operação limiarização. Imagem original (a). Imagem transformada em escalas de cinza (b). Aplicação de limiarização com valor de limiar igual a 50 (c). Aplicação de limiarização com valor de limiar igual a 150 (d) .....	25
Figura 10 - Ilustração de uma operação baseada em vizinhança .....	26
Figura 11 - Aplicação de uma máscara em uma imagem.....	27
Figura 12 - Aplicação da operação convolução. Imagem monocromática (a). Resultado da aplicação da convolução com filtro médio com tamanho 9x9 (b). Resultado da aplicação da convolução com operador Scharr horizontal e vertical (c). Resultado da aplicação da convolução com operador Sobel horizontal e vertical (d).....	29
Figura 13 - Aplicação de detecção de contornos. Imagem original (a). Resultado da aplicação da convolução com operador Scharr horizontal e vertical (b). Aplicação de limiarização com valor de limiar igual a 100 (c). Aplicação de detecção de contornos (d) .....	31
Figura 14 - Diagrama de funcionamento geral do projeto.....	32
Figura 15 - Caixa selecionada para o projeto .....	35
Figura 16 - Módulo ESP32-CAM .....	36
Figura 17 - Fluxograma de Funcionamento da ESP-CAM.....	37
Figura 18 - Bateria 12V JGP .....	38
Figura 19 - Módulo regulador de tensão LM2596.....	39
Figura 20 - Posicionamento dos componentes dentro da caixa de avaliação .....	40
Figura 21 - Modelo 3D do suporte para o módulo ESP32-CAM.....	41
Figura 22 - Fluxograma do algoritmo de avaliação do tom da amostra de leite cru .....	42
Figura 23 - Fluxograma do algoritmo de detecção de grumos na amostra de leite cru .....	43
Figura 24 - Diagrama da interface com o usuário .....	44
Figura 25 - <i>Layout</i> previsto para a Aplicação .....	45
Figura 26 - Fluxograma de uso do aparelho .....	46
Figura 27 - Caixa de Avaliação Montada .....	47
Figura 28 - Resultado da análise da amostra de leite apresentado no aplicativo <i>Android</i> .....	48
Figura 29 - Nova Caixa de Avaliação construída.....	49

Figura 30 - Organização interna da Caixa de Avaliação .....	49
Figura 31 - Diagrama Esquemático da ligação interna da Caixa de Avaliação .....	50
Figura 32 - Resultados da Avaliação do teste de Alizarol em amostras de leite com pH de 6,7 a esquerda e 6,4 a direita .....	51
Figura 33 - Deslocamento de Valores Aplicado no Histograma .....	52
Figura 34 - Curva de Tonalidade x pH.....	52
Figura 35 - Amostras de leite e Alizarol. À direita uma amostra que apresenta formação de grumos, e a esquerda uma amostra sem a formação de grumos .....	53
Figura 36 - Resultados da detecção de grumos na amostra sem formação de grumos .....	53
Figura 37 - Resultados da detecção dos grumos com filtro de posição e tamanho .....	54
Figura 38 - Resultados da detecção de grumos com limiar de 150 acima e 30 abaixo .....	55
Figura 39 - Diagrama elétrico para medição de corrente .....	56
Figura 40 - Medida do consumo de corrente da Caixa de Avaliação .....	57

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Formato genérico da comunicação entre os dispositivos .....	33
Quadro 2 - Exemplos de comunicações entre os dispositivos .....	34
Quadro 3 - Características do Módulo ESP32-CAM.....	36
Quadro 4 - Componentes da Caixa de Avaliação .....	39

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Teste de Alizarol</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>Imagens Digitais</b> .....	<b>19</b>
3.2.1	Modelos de representação da cor .....	20
<u>3.2.1.1</u>	<u>O modelo RGB</u> .....	<u>21</u>
<u>3.2.1.2</u>	<u>O modelo HSV</u> .....	<u>21</u>
3.2.2	Formato Bitmap .....	22
3.2.3	Formato JPEG .....	23
<b>3.3</b>	<b>Processamento Digital de Imagem</b> .....	<b>23</b>
3.3.1	Histograma .....	24
3.3.2	Limiarização ( <i>Thresholding</i> ) .....	24
3.3.3	Convolução .....	26
<u>3.3.3.1</u>	<u>Filtro de Média</u> .....	<u>27</u>
<u>3.3.3.2</u>	<u>Detecção de Pontos</u> .....	<u>27</u>
<u>3.3.3.3</u>	<u>Detecção de Linhas</u> .....	<u>28</u>
<u>3.3.3.4</u>	<u>Operador Sobel</u> .....	<u>28</u>
<u>3.3.3.5</u>	<u>Operador Scharr</u> .....	<u>28</u>
3.3.4	Detecção de Contornos .....	30
<b>3.4</b>	<b><i>OpenCV</i></b> .....	<b>30</b>
<b>3.5</b>	<b>Comunicação <i>Bluetooth</i></b> .....	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>32</b>
<b>4.1</b>	<b>Comunicação entre Dispositivos</b> .....	<b>33</b>
<b>4.2</b>	<b>Caixa de Avaliação</b> .....	<b>34</b>
4.2.1	Iluminação Interna .....	35
4.2.2	ESP32-CAM .....	35
<u>4.2.2.1</u>	<u>Funcionamento do <i>software</i> embarcado</u> .....	<u>37</u>
4.2.3	Alimentação do Sistema .....	38
4.2.4	Fixação dos Componentes.....	39
<b>4.3</b>	<b>Aplicação <i>Android</i></b> .....	<b>41</b>
4.3.1	Avaliação da cor .....	41

4.3.2	Detecção dos grumos.....	42
4.3.3	Funcionamento da Aplicação .....	43
<b>4.4</b>	<b>Procedimento de Utilização.....</b>	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>47</b>
<b>5.1</b>	<b>Caixa de Avaliação e Aplicação <i>Android</i> .....</b>	<b>47</b>
5.1.1	Nova Caixa de Avaliação .....	48
<b>5.2</b>	<b>Caracterização da Curva Tonalidade x pH .....</b>	<b>50</b>
<b>5.3</b>	<b>Detecção de Grumos.....</b>	<b>53</b>
5.3.1	Valor do Limiar .....	55
<b>5.4</b>	<b>Consumo de energia.....</b>	<b>56</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As maiores exigências e preocupações em toda cadeia produtiva de itens alimentícios são em relação a qualidade, higiene e segurança, dos processos e dos alimentos produzidos. Esta exigência não é diferente no ramo de laticínios, porém, apesar dos avanços tecnológicos presenciados na indústria do leite, parte dos processos realizados nas propriedades rurais, responsáveis pela produção da matéria prima, não acompanham o desenvolvimento de novas técnicas e métodos.

Atualmente, a produção de leite no Brasil é realizada, em grande parte, em pequenas e médias propriedades, que formam uma grande rede de produção leiteira. Todo o leite produzido deve ser coletado em caminhões, que possuem tanques termicamente isolados para armazenar o leite coletado em diversas propriedades, em uma temperatura adequada, até a sua entrega nas indústrias de laticínios.

Como os tanques dos caminhões não possuem sistema de refrigeração, e dada a grande quantidade de propriedades produtoras de leite, o processo de coleta nas propriedades e entrega do leite nas indústrias de laticínios, deve ser realizado com rapidez. Além disto, se tratando de um produto alimentício, várias regras sanitárias devem ser seguidas. Para isso, devem ser avaliados a temperatura do leite e a qualidade dele, sendo o teste do Alizarol um desses processos avaliativos. De acordo com a IN N° 77, caso o leite não passe nos quesitos definidos, o mesmo não poderá ser coletado (BRASIL, 2018), resultando assim, em prejuízo para o produtor, e para a empresa que realiza a coleta.

Existe, entretanto, uma grande subjetividade quanto à avaliação do teste de alizarol. Segundo DIAS e ANTES, 2014, a mistura de leite com qualidade e alizarol apresentará uma coloração rosa ou lilás, enquanto o leite inadequado apresentará uma coloração mais amarelada, ou ainda tendendo para o violeta ou azul. Não existe uma fronteira clara entre o que se considera leite de qualidade e o que será desprezado. Além disso, todo o processo de coleta, inclusive o teste do alizarol, é geralmente realizado em pequeno espaço de tempo, para evitar a degradação do leite já coletado, possibilitando assim falhas no processo.

Tendo em vista a importância financeira que o teste realizado possui no processo de coleta de leite, principalmente para o produtor, visando trazer maior confiabilidade, assim como eliminar a subjetividade envolvida na avaliação do teste, e ainda manter um registro digital histórico dos testes realizados, este trabalho propõe

o desenvolvimento de um equipamento eletrônico, capaz de realizar a avaliação automática do teste de alizarol.

O sistema proposto será composto por duas partes: a caixa de avaliação, e a aplicação Android. A caixa de avaliação deverá acomodar uma amostra de leite e alizarol, realizar uma fotografia e enviar a mesma por *bluetooth* para a aplicação Android. A partir da foto capturada, a aplicação deverá realizar a avaliação da amostra, apresentando o resultado rapidamente ao responsável pela coleta, e possibilitando a criação de um registro de imagens das amostras tomadas e dos resultados calculados, fazendo com que o a avaliação do leite no momento da coleta seja mais transparente e seguro, uma vez que os resultados podem ser reavaliados e conferidos, caso exista a necessidade.

## 2 OBJETIVO

Desenvolver um equipamento capaz de fotografar uma amostra, preparada através da mistura de leite e alizarol em iguais proporções, com volume total de aproximadamente 4ml. A fotografia será feita em ambiente com iluminação controlada e então transferida para um celular onde a imagem será analisada a fim de determinar o pH através da cor e a estabilidade térmica através da presença de grumos. O pH deve ser determinado com resolução de 0,1 unidade na faixa entre 6,0 e 7,0, e deve ser apresentada a quantidade de grânulos na superfície da amostra.

### 2.1 Objetivos Específicos

- Determinar ou projetar os componentes físicos a serem utilizados no projeto;
- Desenvolver um *software* para o sistema microcontrolado, capaz de capturar imagens e enviá-las por *Bluetooth*;
- Desenvolver um algoritmo para a análise da tonalidade da amostra;
- Desenvolver um algoritmo para a detecção de grumos na amostra;
- Utilizar o *Android Studio* para programar a aplicação *Android* capaz de analisar uma imagem recebida e apresentar os resultados;
- Obter uma correlação entre a tonalidade da amostra e seu pH;
- Realizar a montagem do protótipo, e testes com amostras de leite e alizarol.



### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

O leite é um alimento rico e nutritivo, e faz parte da alimentação diária da maioria dos brasileiros. No Paraná, segundo maior produtor de leite do Brasil, foram processados, somente no 2º trimestre de 2021, mais de 800 mil litros do produto ( INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021), grande parte do qual é produzido no próprio estado.

Após a ordenha das vacas, o leite é armazenado em tanques refrigeradores nas propriedades rurais, onde devem ser refrigerados e mantidos a temperatura igual ou inferior a 4° Celsius ( BRASIL, 2018). O leite é então recolhido e transportado por caminhões até os laticínios, onde o mesmo será processado e embalado para consumo. Para tanto, é imprescindível que existam formas eficientes e precisas de analisar e comprovar sua qualidade, garantindo que o consumidor final tenha acesso a um produto de qualidade e com segurança.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), publicou em 29 de dezembro de 2011, a Instrução Normativa (IN) nº62, em substituição da Instrução Normativa N°51 de 2002, aprovando regulamentos que estabelecem os critérios para produção, avaliação e transporte de leite tipo A, e leite cru refrigerado. A IN N°62 define, “leite, sem outra especificação, o produto oriundo da ordenha completa, ininterrupta, em condições de higiene, de vacas saudáveis, bem alimentadas e descansadas” ( BRASIL, 2011).

Em 26 de novembro de 2018 o MAPA publicou a Instrução Normativa N°77, definindo critérios e procedimentos para o armazenamento, conservação, transporte, seleção e recepção de leite cru. Especificamente sobre a coleta de leite cru refrigerado, para o transporte aos laticínios, a IN N°77 determina em seu artigo 24, que o responsável pela coleta do leite na propriedade rural deve, entre outras exigências sanitárias, realizar o teste do Álcool/Alizarol, com concentração mínima de 72%v/v, e não deverá coletar o leite que não passe no teste ( BRASIL, 2018).

#### 3.1 Teste de Alizarol

O teste do Álcool/Alizarol, deve ser realizado antes da coleta do leite refrigerado, e permite identificar se o leite está normal, ácido ou com acidez menor do

que o normal (leite alcalino), além de estimar a sua estabilidade térmica, simulando o processo que o leite será submetido na indústria ( DIAS e ANTES, 2014).

A realização deste teste consiste em misturar homogeneamente partes iguais de leite e de solução alcoólica, cerca de 2ml de cada substância, em uma placa de Petri ( ZANELA, RIBEIRO e FISCHER, 2018). A Figura 1 apresenta amostra de leite com diferentes valores de pH, submetidos ao teste do Alizarol.

**Figura 1 - Teste de Alizarol em leite bovino com diferentes valores de pH**



**Fonte: SANTOS SILVA, SILVA, et al., 2013**

A avaliação do teste de Alizarol é feita analisando a coloração e o aspecto da amostra. O leite, em condições normais, apresenta pH entre 6,4 e 6,8 ( SANTOS SILVA, SILVA, et al., 2013). No teste de Alizarol o leite deve apresentar coloração de rosa a lilás e sem formação de grumos. Quando ocorre a formação de coloração amarelada e a presença de grumos na amostra o leite é considerado ácido. Por outro lado, caso o leite esteja alcalino, a amostra apresentará uma cor violeta, tendendo para o azul. ( DIAS e ANTES, 2014).

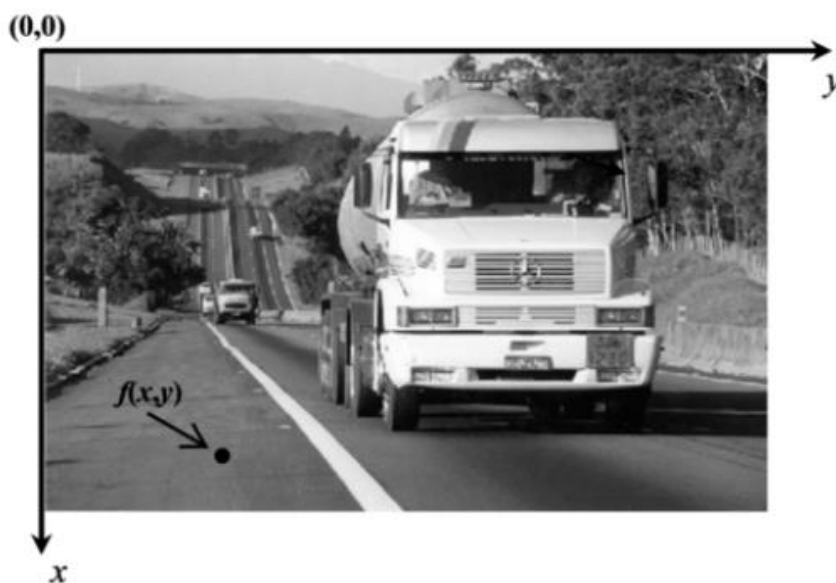
Em alguns casos pode ocorrer a formação de coágulos na amostra de leite, mesmo que a amostra não apresente acidez elevada. Este leite é então denominado LINA (leite instável não ácido). As causas do LINA não são completamente esclarecidas, e a detecção do leite LINA pelo teste do Alizarol, geralmente, resulta na rejeição do leite pela indústria ( ZANELA, RIBEIRO, et al., 2009).

### 3.2 Imagens Digitais

As imagens fazem parte do dia a dia de todas as pessoas. Podem ser citados quadros, ilustrações, diagramas ou fotografias, seja na tela de dispositivos digitais, ou impressas em livros, revistas, *outdoors*. Porém, uma vez que computadores somente são capazes de trabalhar com números, como é possível que estes entendam e trabalhem com imagens? Nesta seção serão exploradas algumas formas de representar imagens de forma digital, para seu uso em sistemas computacionais.

As imagens monocromáticas, como a da Figura 2, podem ser pensadas como uma função bidimensional  $f(x, y)$ , onde  $x$  e  $y$ , se referem as coordenadas espaciais da imagem, e o resultado da função, é proporcional ao brilho (ou níveis de cinza) da imagem na posição em questão ( GONZALEZ e WOODS, 2000, p. 22). Cada ponto  $(x, y)$  da imagem é denominado “elemento de imagem” ou pixel (abreviação da expressão em inglês *Picture element*) ( CUNHA, 2016).

Figura 2 - Eixos convencionais de uma imagem digital



Fonte: CUNHA, 2016

Porém, como os computadores não possuem a capacidade de processar imagens contínuas, é preciso digitalizar tanto as coordenadas espaciais da imagem como o valor da função que define a imagem em si ( QUEIROZ e GOMES, 2006). Dessa forma uma imagem monocromática com  $N$  colunas e  $M$  linhas pode ser representada e processada por sistemas digitais como a matriz apresentada na Figura 3.

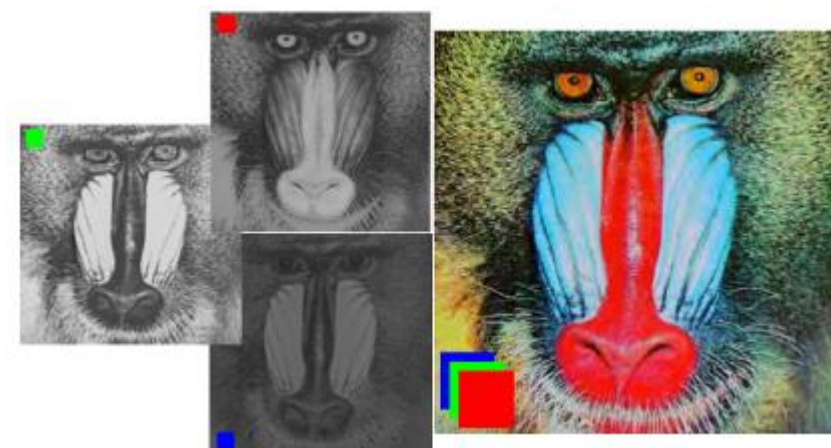
**Figura 3 - Representação digital de uma imagem monocromática**

$$Imagem\ monocromatica = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

Fonte: Adaptado de CUNHA, 2016

Para representar uma imagem colorida, são utilizadas três imagens monocromáticas, uma para a cor vermelha, outra para a cor verde e a última para a cor azul, cada uma representando a intensidade luminosa da componente respectiva ( QUEIROZ e GOMES, 2006). A Figura 4, apresenta a esquerda cada plano monocromático que compõe a imagem colorida à direita.

**Figura 4 - Composição de imagens coloridas**



Fonte: QUEIROZ e GOMES, 2006

### 3.2.1 Modelos de representação da cor

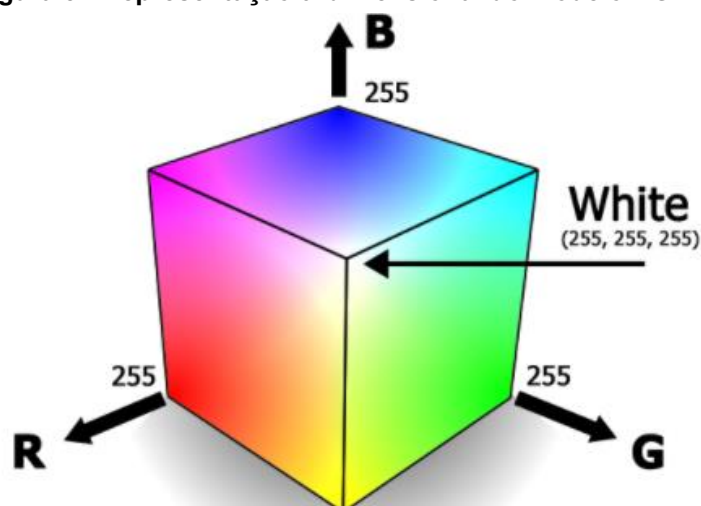
A representação digital de cores é baseada na percepção humana das cores. Existem diversos modelos e em linhas gerais, estes, tem por objetivo especificar cores em um espaço tridimensional. Boa parte dos modelos são influenciadas por *hardware* (impressoras e monitores coloridos) e os principais modelos são: RGB (*red, green, blue*), CMY (*cian, magenta, yellow*) e suas variantes, e HSI (*hue, saturation, intensity*) que também é referida como HSV (*hue, saturation, value*). ( MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999, p. 121).

### 3.2.1.1 O modelo RGB

A representação das cores no modelo RGB é feita pelo processo de aditivo de componentes luminosas vermelha, verde e azul, as quais são responsáveis pelas sensações de todas as cores registradas pelo olho humano ( QUEIROZ e GOMES, 2006).

Portanto, a representação das cores no modelo RGB é feita através da combinação de componentes das cores primárias vermelho, verde e azul. A Figura 5 apresenta a distribuição das cores, com a representação tridimensional, no modelo RGB. Nota-se que nas extremidades dos eixos estão representadas as cores primárias do modelo.

Figura 5 - Representação tridimensional do modelo RGB

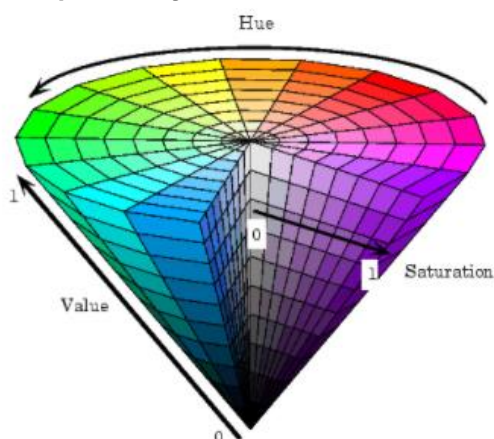


Fonte: CUNHA, 2016

### 3.2.1.2 O modelo HSV

O modelo HSV, Propõe a classificação das cores com valores de tonalidade (*hue*), saturação (*saturation*) e intensidade (*value*), e, de modo geral, está mais próxima da forma como o ser humano tende a classificar as cores. Este modelo de descrição de cores é muito utilizado em sistemas de visão artificial, que são baseados na percepção de cor pelo ser humano ( QUEIROZ e GOMES, 2006). A Figura 6 apresenta a distribuição tridimensional das cores no modelo HSV.

**Figura 6 - Representação tridimensional do modelo HSV**

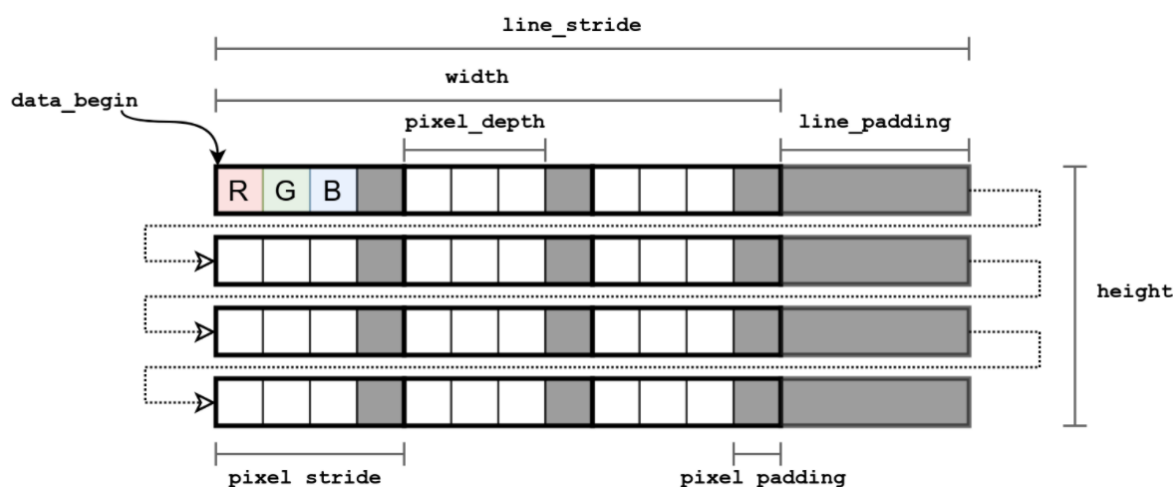


Fonte: CUNHA, 2016

### 3.2.2 Formato Bitmap

As imagens digitais podem ser imaginadas como matrizes bidimensionais de valores que indicam a luminosidade de cada componente de cor. Quando são armazenadas as informações da imagem, *pixel* por *pixel*, está sendo utilizado o formato bitmap (MURRAY e VANRYPER, 1996, p. 12). Os *bytes* que formam a imagem são escritos em memória como um vetor unidimensional, representando a imagem, *pixel* por *pixel*, linha por linha, partindo da origem da imagem (MURRAY e VANRYPER, 1996, p. 66), conforme apresentado na Figura 7.

**Figura 7 - Representação de uma imagem em memória**



Fonte: SHIPITKO, 2018

Existem diversas formas de representar imagens neste formato, dependendo do modelo de cor utilizado, e da quantidade de *bits* empregues para descrever os

*pixels*. Normalmente, cada *pixel* é representado por três *bytes*, um para cada componente RGB. Como cada canal ocupa 8 *bits* de memória, este formato é chamado RGB888. Ou ainda, pode ser utilizado o formato RGB565, onde, o canal vermelho é representado por 5 *bits*, o canal verde por 6 *bits* e o azul por 5 *bits*, assim cada pixel da imagem passará a ser definido por dois *bytes*, diminuindo o comprimento total do vetor necessário para descrever a imagem ( ZECHNER, DIMARZIO e GREEN, 2016, p. 101).

### 3.2.3 Formato JPEG

A sigla JPEG significa *Joint Photographic Experts Group*, se refere ao comitê criado com intuito de definir normas para a codificação de imagens estáticas ( JPEG, 2021). O formato JPEG, é comumente utilizado para armazenar imagens digitais. A compressão da imagem é feita calculando os coeficientes da transformada discreta de Fourier nos três canais da foto ( NEELAMANI, QUEIROZ, *et al.*, 2006).

Uma vez que é realizado um processo de compressão na imagem original, o formato JPEG geralmente possui um tamanho em memória inferior ao formato matricial Bitmap, porém, a representação JPEG quando descomprimida apresenta distorções em relação a imagem original.

## 3.3 Processamento Digital de Imagem

O processamento digital de imagens, se refere a procedimentos e algoritmos, aplicados a imagens digitais, com o objetivo de aprimorar e facilitar a interpretação de imagens por humanos, ou, analisar e extrair informações diretamente das imagens. As aplicações do processamento de imagens digitais são variadas e estão presentes na Medicina, Biologia, Geografia, Astronomia, no uso de robôs para automação industrial e diversas outras áreas do conhecimento ( MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999, p. 1).

Porém, a tarefa de processamento digital de imagens não é simples, e envolve desde a captura, o preparo para a realização das análises, até a avaliação dos resultados ( QUEIROZ e GOMES, 2006). Nas seguintes seções serão abordados

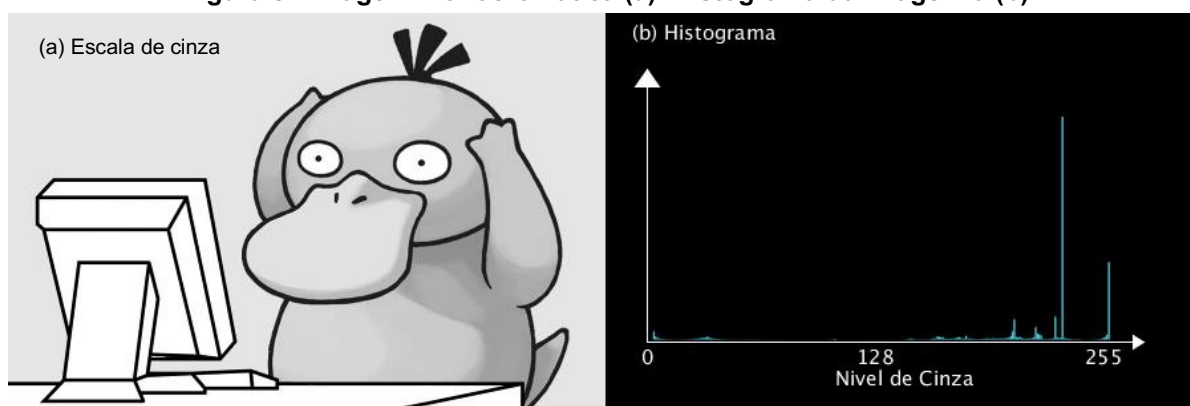
alguns procedimentos e algoritmos utilizados em aplicações que utilizam processamento de imagens.

### 3.3.1 Histograma

O histograma de uma imagem monocromática, é uma representação gráfica do número de pixels associado a cada nível de cinza da imagem, podendo ser expresso de forma percentual em relação a quantidade total de pixels na imagem ( QUEIROZ e GOMES, 2006). Ele fornece informações sobre as distribuições de intensidades da imagem, e pode ser usado para medir o contraste. Quando maior o espalhamento ao longo do eixo dos níveis de cinza, maior será o contraste ( CRÓSTA, 2002, p. 31, 32).

A Figura 8 (b), apresenta o histograma de uma imagem em escalas de cinza mostrada na Figura 8 (a), esta é representada por 256 níveis distintos de cinza, porém a maior parte dos pixels da imagem estão em apenas dois destes níveis, conforme destaca o histograma.

**Figura 8 - Imagem monocromática (a). Histograma da imagem a (b)**



Fonte: Autoria Própria

### 3.3.2 Limiarização (*Thresholding*)

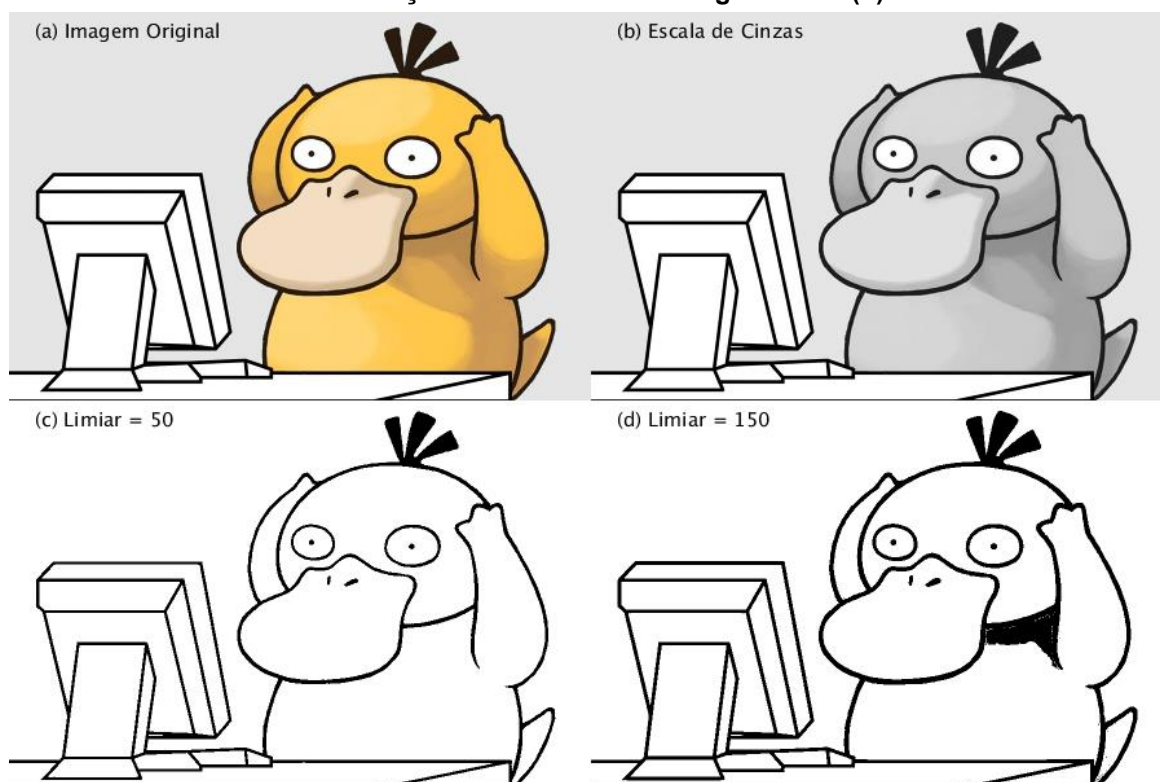
A limiarização (*thresholding*, em inglês) é um procedimento para segmentação de imagens monocromáticas baseado no nível de cinza, mediante a definição de um limiar  $T$  ( QUEIROZ e GOMES, 2006). Definindo a operação de maneira matemática, a transformação dos *pixels* de uma imagem  $f(x, y)$  em uma imagem limiarizada  $g(x, y)$  é realizada segundo a Equação (1) ( MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999, p. 73)



$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{se } f(x, y) \geq T \\ 0 & \text{se } f(x, y) < T \end{cases} \quad (1)$$

A Figura 9 (a) apresenta a imagem original, a qual é transformada na sua versão monocromática na Figura 9 (b), usada para a operação de limiarização. Na Figura 9 (c) está o resultado da operação tomando como limiar o valor 50. Finalmente no Figura 9 (d), o resultado da limiarização tomando o limiar igual a 150.

**Figura 9 - Aplicação da operação limiarização. Imagem original (a). Imagem transformada em escalas de cinzas (b). Aplicação de limiarização com valor de limiar igual a 50 (c). Aplicação de limiarização com valor de limiar igual a 150 (d)**

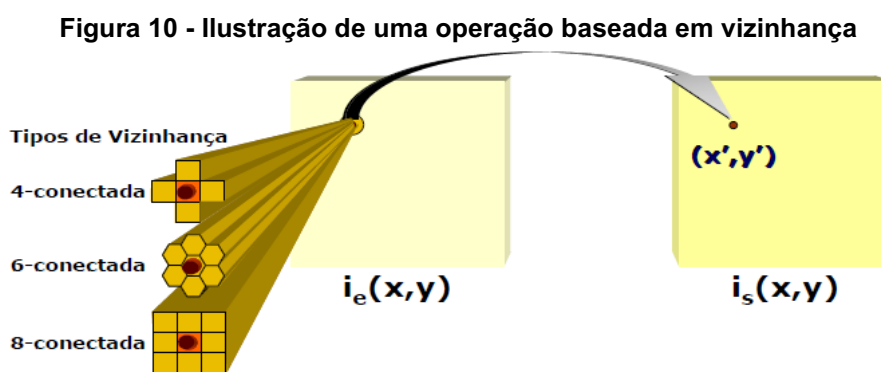


Fonte: Autoria Própria

Como pode-se observar pelos resultados apresentados na Figura 9, a aplicação da operação de limiarização pode apresentar diferentes resultados dependendo do valor limiar selecionado. A escolha do limiar adequado depende da aplicação a que este está sendo utilizado, porém essa escolha não precisa ser arbitrária, é possível utilizar os dados estatísticos coletados a partir da criação do histograma para obter valores adequados para o limiar ( MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999, p. 75).

### 3.3.3 Convolução

Em tratamento de imagens é comum realizar operações que transformam cada *pixel* de uma imagem baseado em sua vizinhança, essas operações utilizam o conceito de convolução com máscara ( MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999, p. 34). Desta forma, o valor de saída do pixel localizado na posição  $(x, y)$ , depende dos valores da vizinhança do mesmo. Geralmente considera-se vizinhança os *pixels* ortogonalmente vizinhos, ou ainda os *pixels* diagonalmente mais próximos, porém também é possível processar grades hexagonais ( QUEIROZ e GOMES, 2006), conforme apresentado na Figura 10.

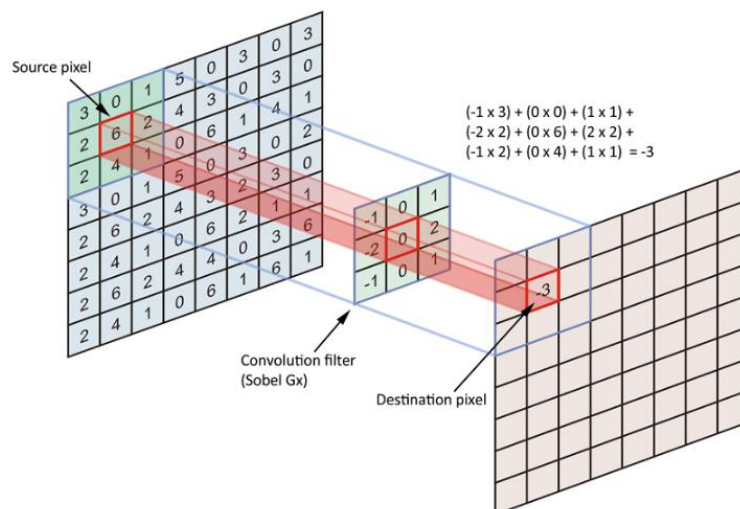


Fonte: QUEIROZ e GOMES, 2006

De maneira geral, pode-se definir uma matriz ou operador  $W$ , que será utilizada como máscara na operação. Esta máscara percorrerá a imagem e a cada posição relativa da máscara sobre a imagem de entrada será realizado o cálculo do valor do *pixel* da posição correspondente na imagem de saída, conforme a equação  $Z = \sum W_i * Z_i$  ( MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999, p. 34). Onde  $Z$  é o valor na imagem resultado da posição calculada,  $W_i$  são cada os coeficientes do operador utilizado, e  $Z_i$  são os valores dos *pixels* próximos à posição calculada da imagem de entrada.

A Figura 11 ilustra o procedimento de convolução. O valor -3 calculado para o pixel apresentado na imagem de saída, é obtido ao realizar a soma das multiplicações dos coeficientes da máscara com os valores da vizinhança do pixel na imagem de entrada.

Figura 11 - Aplicação de uma máscara em uma imagem



Fonte: LIMA, RUBIK e MORAIS, 2020

Este tipo de operação pode ser utilizado para suavizar ou realçar diferenças e características das imagens dependendo da máscara utilizada. A seguir, são apresentados alguns dos operadores mais comuns.

### 3.3.3.1 Filtro de Média

Uma das máscaras mais simples, tem o efeito de substituir o valor do *pixel* original pela média de sua vizinhança ( CRÓSTA, 2002, p. 81). Este filtro apresenta o efeito de diminuir contrastes e suavizar bordas.

$$\begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix}$$

### 3.3.3.2 Detecção de Pontos

Operador de convolução que destaca *pixels* brilhantes, rodeados por *pixels* escuros ( MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999, p. 37).

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

### 3.3.3.3 Detecção de Linhas

Operador de convolução que destaca linhas verticais, horizontais ou diagonais ( MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999, p. 37).

$$Horizontal \rightarrow \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 2 & 2 & 2 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$Vertical \rightarrow \begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix}$$

$$Diagonal \rightarrow \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}$$

### 3.3.3.4 Operador Sobel

O Operador Sobel é um exemplo de operador utilizado para a detecção de bordas ( MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999, p. 38).

$$Horizontal \rightarrow \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Vertical \rightarrow \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

### 3.3.3.5 Operador Scharr

De forma similar ao operador Sobel, o operador Scharr, é utilizado para detectar bordas em imagens. Bordas são definidas como a fronteira entre duas regiões com níveis de cinza consideravelmente diferentes ( MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999, p. 37). Ainda, pode-se pensar nas bordas, como regiões com um grande valor da derivada da imagem. Os operadores de Scharr e Sobel, são representações discretas da operação derivada ( ALNOURI, SAEI, *et al.*, 2015).

$$Horizontal \rightarrow \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 3 & 10 & 3 \\ 0 & 0 & 0 \\ -3 & -10 & -3 \end{bmatrix}$$

$$\text{Vertical} \rightarrow \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -3 & 0 & 3 \\ -10 & 0 & 10 \\ -3 & 0 & 3 \end{bmatrix}$$

A Figura 12 apresenta o resultado da aplicação de três operações de convolução. Com a Figura 12 (b), pode-se perceber que a aplicação do filtro médio, faz com que a imagem original, Figura 12 (a), fique borrada e com menor nitidez. Já a aplicação dos operadores de Scharr e de Sobel destacam as regiões de mudança nos níveis de cinza da imagem. Ainda como mostra a Figura 12 (c), essas transições são muito mais destacadas com o operador Scharr em comparação com o operador Sobel, apresentado na Figura 12 (d). Isto se dá pela diferença na amplitude dos coeficientes dos dois operadores.

**Figura 12 - Aplicação da operação convolução. Imagem monocromática (a). Resultado da aplicação da convolução com filtro médio com tamanho 9x9 (b). Resultado da aplicação da convolução com operador Scharr horizontal e vertical (c). Resultado da aplicação da convolução com operador Sobel horizontal e vertical (d)**



Fonte: Autoria Própria

### 3.3.4 Detecção de Contornos

A detecção de contornos de imagens é uma operação fundamental em diversas áreas como: processamento de imagens médicas, robótica, visão por computador. Os contornos estão intimamente ligados ao conceito de bordas em imagens e estão nas regiões onde existe grande variação da intensidade luminosa em um espaço relativamente pequeno ( CAEIRO, 2010). Logo, detecção de contornos pode ser pensada como a determinação da posição exata dos *pixels* que se localizam nas bordas de uma determinada imagem. Isto se torna complexo à medida que a imagem em que se aplica a operação possui ruídos, ou não é completamente nítida. Geralmente, para um bom resultado ser atingido, o procedimento para a determinação de bordas demanda pré-processamentos na imagem.

A Figura 13 apresenta uma sequência de operações realizadas, buscando a determinação dos contornos presentes na Figura 13 (a). A Figura 13 (c), apresenta o resultado da limiarização com limiar igual a 100, após aplicação do operador Scharr, mostrado na Figura 13 (b). O algoritmo de detecção de contornos obtém os resultados em verde, apresentados na Figura 13 (d), onde pode-se observar a detecção dos contornos nas regiões onde existem mudanças na coloração da imagem original.

## 3.4 OpenCV

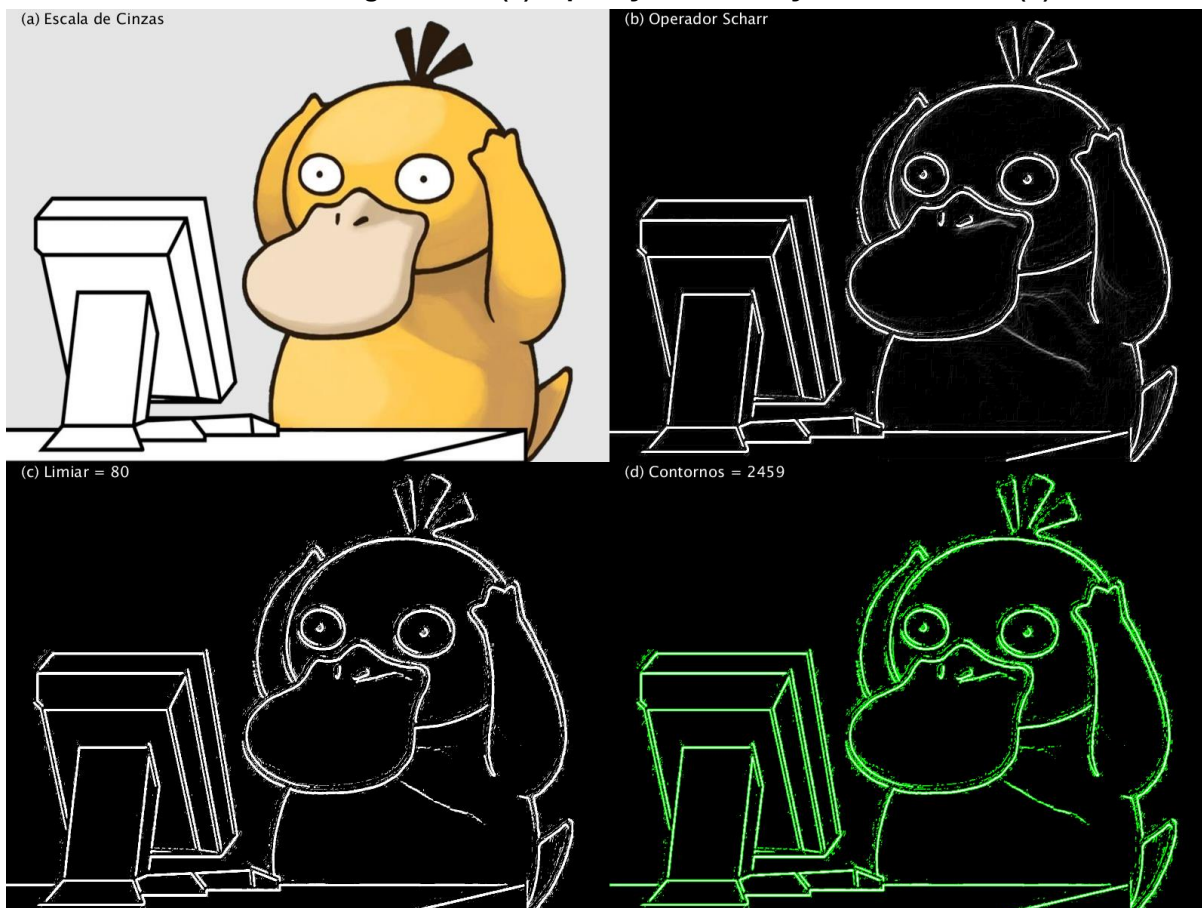
O *OpenCV* é uma biblioteca *open source* feita para aplicações de visão computacional e aprendizado de máquina, ela implementa mais 2500 algoritmos otimizados de tratamento digital de imagem, que podem ser utilizados para as mais diversas aplicações. A biblioteca possui interfaces para as linguagens C++, Java, Python e MATLAB, além de suportar diversas plataformas como Windows, Linux, Mac OS e Android ( OPENCV, 2021).

## 3.5 Comunicação *Bluetooth*

*Bluetooth* é uma tecnologia de comunicação sem fio, que dá flexibilidade à diversas aplicações. O Bluetooth funciona a partir de transmissões de rádio na faixa de frequência de 2.4 GHz, e é muito utilizado para transferência de arquivos de mídia

digital como imagens e áudio ( BLUETOOTH, 2021). Apesar dessas aplicações mais comuns, a tecnologia, permite o envio de qualquer tipo de mensagem, seja um simples texto, ou objetos mais complexos.

**Figura 13 - Aplicação de detecção de contornos. Imagem original (a). Resultado da aplicação da convolução com operador Scharr horizontal e vertical (b). Aplicação de limiarização com valor de limiar igual a 100 (c). Aplicação de detecção de contornos (d)**



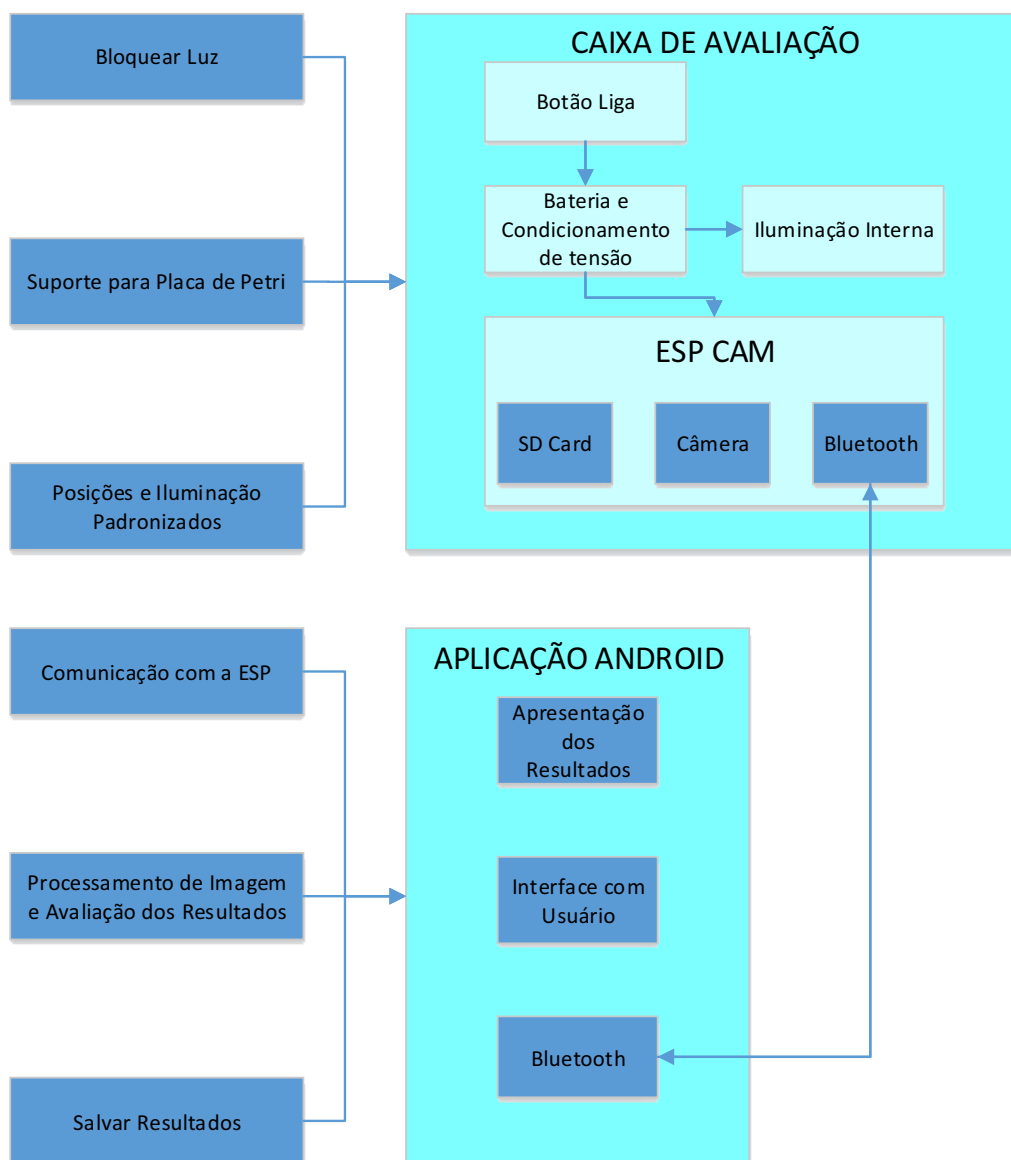
Fonte: Autoria Própria

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Tendo em vista a natureza subjetiva associada aos testes de alizarol realizados no momento da coleta do leite nas propriedades, e o impacto de seu resultado para a cadeia produtiva de leite, este trabalho propõe a criação de um equipamento capaz de realizar este teste de forma automática e padronizada.

Para tanto, foi necessário desenvolver as partes dispostas no diagrama da Figura 14, onde são destacadas as duas partes principais do projeto: a Caixa de Avaliação, e o *Software* em dispositivo *Android*.

**Figura 14 - Diagrama de funcionamento geral do projeto**



Fonte: Autoria Própria (2021)



Como pode-se observar pela Figura 14, cada uma das duas partes principais do projeto possui responsabilidades e devem atender a requisitos. Portanto, nas seções a seguir serão detalhadas como tais requisitos são satisfeitos e como ocorre o funcionamento da Caixa de Avaliação, da aplicação *Android*, e da comunicação realizada entre elas.

#### 4.1 Comunicação entre Dispositivos

Para realizar uma comunicação efetiva entre a aplicação *Android* e a Caixa de Avaliação, foi preciso definir um padrão de mensagens a ser seguido por ambos os dispositivos. Assim, a troca de mensagens seguem o padrão especificado no Quadro 1.

**Quadro 1 - Formato genérico da comunicação entre os dispositivos**

Direção	Conteúdo
Celular -> ESP	Especificação do Comando
Celular -> ESP	Complemento do Comando
ESP -> Celular	Dados e/ou indicação de erro

**Fonte: Autoria Própria (2021)**

Desta forma é possível enviar comandos e parâmetros da aplicação *mobile* para a caixa de avaliação e receber a confirmação de que o comando enviado será realizado, assim como receber dados adquiridos pela ESP32-CAM, como por exemplo as fotos.

No Quadro 2 são apresentados dois exemplos de comunicação entre a aplicação em dispositivo móvel, e a Caixa de Avaliação. Em ambos os exemplos, o celular envia o comando para a realização das fotos, e como complemento o centro da região da foto no formato RGB565.

O exemplo 1, ilustra uma possível falha no momento da captura da primeira foto, portanto, a caixa envia uma mensagem indicando a ocorrência de erro. Já o exemplo 2, demonstra a comunicação caso não ocorram erros. Neste caso, após a captura da primeira foto, a caixa envia uma mensagem, onde são informadas a quantidade de bytes que formam a imagem, a altura e a largura da imagem capturada.

Em seguida são enviados os bytes correspondentes a primeira foto, no formato JPEG, para apresentação ao usuário. Logo em seguida é realizada a captura da segunda foto desta vez no formato RGB565, para a realização das análises, e

seguindo o mesmo padrão de envio da primeira foto, os dados são transferidos para o celular.

**Quadro 2 - Exemplos de comunicações entre os dispositivos**

<b>Exemplo 1: Falha na captura da foto</b>	
<b>Direção</b>	<b>Conteúdo</b>
Celular-> ESP	"ESP Capture/r/n"
Celular-> ESP	"500,500/r/n"
ESP -> Celular	"Capture Failed\r\n"
<b>Exemplo 2: Captura das fotos bem sucedida</b>	
<b>Direção</b>	<b>Conteúdo</b>
Celular-> ESP	"ESP Capture/r/n"
Celular-> ESP	"500,500/r/n"
ESP -> Celular	"xxxxxx 1600 1200\r\n"
ESP -> Celular	Bytes da Foto JPEG
ESP -> Celular	"352800 420 420\r\n"
ESP -> Celular	Bytes da Foto RGB565

**Fonte: Autoria Própria (2021)**

## 4.2 Caixa de Avaliação

Na Caixa de Avaliação são feitas as fotografias usadas na análise da amostra de leite e alizarol. Dessa forma, ela deve atender às condições apresentadas na Figura 14.

Primeiramente, deve ser capaz de boquear suficientemente fontes luminosas externas, potencialmente vindas de todas as direções, a fim de evitar interferência da iluminação do ambiente no resultado obtido. Adicionalmente, é preciso posicionar a amostra dentro da caixa, de forma que deve possuir um suporte para a placa de Petri onde a amostra será colocada, de forma que ela sempre seja posicionada no mesmo local de forma fácil e rápida.

Além da amostra, dentro da caixa estão os equipamentos responsáveis por fazer a fotografia, iluminar o interior da caixa de forma adequada e a bateria para alimentar todo o sistema. Estes equipamentos devem estar posicionados internamente de maneira adequada e segura, de forma a permitir repetitividade na avaliação das amostras.

Buscando atender os requisitos apontados, a caixa de PVC de dimensões 10x12x16cm da marca Schuhmacher, mostrada na Figura 15, foi escolhida.

**Figura 15 - Caixa selecionada para o projeto**



**Fonte: SCHUHMACHER, 2021**

Nas seguintes subseções serão descritos o sistema de iluminação, como a fotografia é registrada e transferida para o celular, e as características dos demais componente da Caixa de Avaliação.

#### 4.2.1 Iluminação Interna

Uma vez que a Caixa de Avaliação deve boquear fontes luminosas externas, é necessário instalar dentro da caixa algum tipo de iluminação, permitindo assim a captura das imagens sem prejuízo de qualidade. Para atingir este objetivo, foi instalada uma fita de lâmpadas LED 12V, na lateral da caixa.

O posicionamento da iluminação deve ser tal que minimize reflexões na superfície da amostra durante a fotografia. Um posicionamento possível é nas laterais da caixa, uma vez que a câmera será posicionada na parte superior.

#### 4.2.2 ESP32-CAM

Para fazer as fotografias é utilizado o módulo ESP32-CAM, mostrado na Figura 16. Este módulo utiliza o microcontrolador ESP32-S e realiza todas as conexões de comunicação e fornecimento de tensão para o uso da câmera OV2640 e de um leitor de cartão de memória.

**Figura 16 - Módulo ESP32-CAM**



**Fonte: WJ COMPONENTES ELETRÔNICOS, 2021**

O módulo permite uso de uma única fonte de tensão 5V, para todo o sistema, além de permitir montagem em *protoboards*, acelerando o processo de prototipagem. O Quadro 3 apresenta as características e especificações relevantes ao projeto.

**Quadro 3 - Características do Módulo ESP32-CAM**

<b>ESP32-CAM</b>	
Tensão de operação: 5V	
Pinos GPIO: 16	
Suporte para cartão SD	
Distância entre pinos: 2,54 mm	
Dimensões: 64 mm x 27,5 mm x 5,5 mm	
<b>Microcontrolador ESP32-S</b>	
Tensão de alimentação	3V a 3,6V
Bluetooth	BLE 4.2
Clock Máximo	240 MHz
Periféricos	UART, SPI, I2C, SDIO, GPIO, ADC, PWM
<b>Câmera OV2640</b>	
Resolução Máxima	1600x1200
Tensão de Alimentação	1,3V +- 5%
Tensão do Sensor	2,5V a 3V
Formatos de Saída	YUV(422/420)/YCbCr422
	RGB565/555
	8-bit dados comprimidos

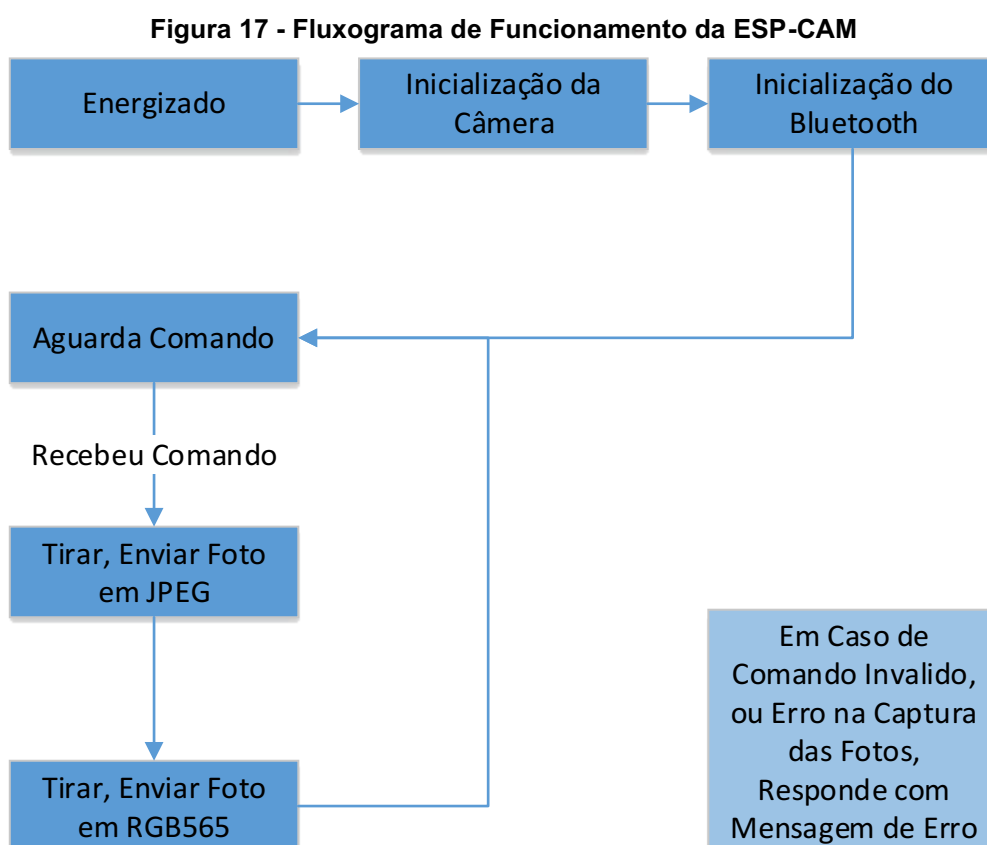
**Fonte: Autoria Própria 2021**

As tensões de alimentação exigidas pelo microcontrolador e pela câmera são atingidas a partir de reguladores de tensão, que rebaixam a tensão da entrada 5V do módulo, para os níveis necessários.

#### 4.2.2.1 Funcionamento do *software* embarcado

O microcontrolador é responsável por realizar a comunicação via Bluetooth com o celular, e por controlar a operação da câmera. A Figura 17, mostra um fluxograma que demonstra o funcionamento do microcontrolador.

A programação do microcontrolador ESP32-S, será realizada a partir da plataforma Arduino, e a operação da câmera gerenciada a partir da biblioteca *open source esp\_camera*.



Fonte: Autoria Própria (2021)

Conforme ilustrado na Figura 17, assim que o microcontrolador for energizado serão realizadas as inicializações e configurações necessárias para a utilização da câmera e do *bluetooth*. Após esse período ele entrará em um estado de espera, aguardando o recebimento de um comando para realizar as fotos.

Ao receber o comando o microcontrolador faz a configuração da câmera para que ela realize uma foto da amostra de leite e a retorne no formato comprimido JPEG. Esta imagem é então transmitida via Bluetooth para o celular.

Após o envio da primeira foto, o sistema faz a configuração da câmera para que o retorno da foto tirada seja realizado no formato RGB565, ou seja, sem compressão dos dados. Após a captura da foto, apenas uma região retangular de tamanho 420x420 *pixels*, cujo centro foi especificado pelo comando recebido, será enviada para o celular por Bluetooth.

Em caso de erro na captura das fotos o sistema enviará uma mensagem de erro em resposta para o celular e interromperá o processo de captura, voltando a aguardar um novo comando. Ainda, caso o dispositivo receba um comando fora do padrão esperado, uma mensagem de erro será retornada, e nenhuma ação realizada.

A função de cada uma das fotos capturadas, será abordada em maiores detalhes na seção 4.3.3.

#### 4.2.3 Alimentação do Sistema

Como o equipamento deverá ser utilizado em campo, o uso de uma bateria para a alimentação dos sistemas da caixa de avaliação traz praticidade e conveniência no uso. Para tanto, foi utilizada a bateria Li-on 12V JGP com 2,2Ah de carga, apresentada na Figura 18, por ser uma bateria vendida nacionalmente, e que possui circuito de proteção e de recarga já integrados.

**Figura 18 - Bateria 12V JGP**



**Fonte: JGB ASSISTÊNCIA TÉCNICA , 2021.**

Para energizar o módulo ESP32-CAM, é necessário reduzir a tensão da bateria para 5 V. Com este fim, foi utilizado um módulo regulador de tensão baseado no CI LM2596, Figura 19. O módulo permite a conversão de tensões na entrada entre 3,2V e 40V, para uma saída ajustável entre 1,5V e 35V, desde que a tensão na entrada seja suficientemente superior à da saída.

**Figura 19 - Módulo regulador de tensão LM2596**



Fonte: BAÚ DA ELETRÔNICA, 2021

Finalmente, a iluminação interna da caixa é energizada diretamente com a tensão da bateria. Ainda, um botão foi colocado em série com a bateria, permitindo o que o equipamento possa ser ligado e desligado.

#### 4.2.4 Fixação dos Componentes

Conforme descrito nas seções anteriores, na Caixa de Avaliação foram posicionados os itens apresentados no Quadro 4.

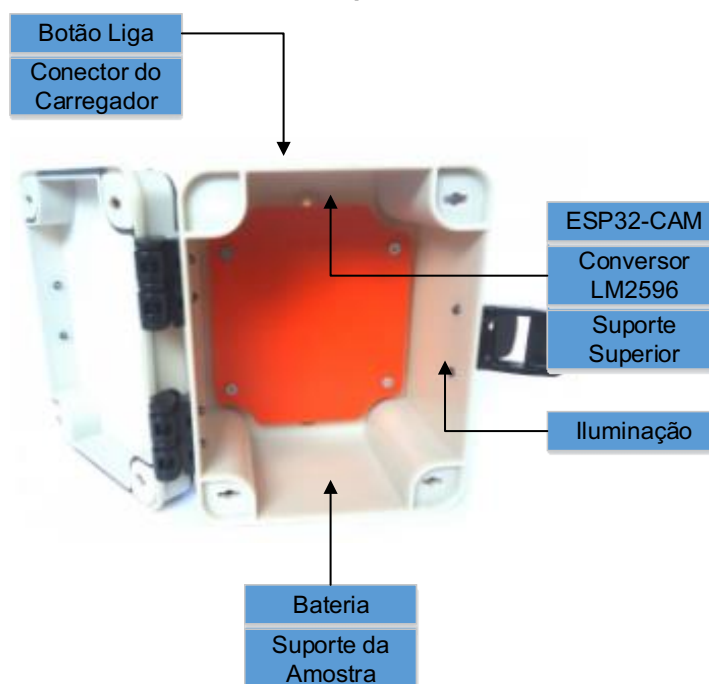
**Quadro 4 - Componentes da Caixa de Avaliação**

Caixa de Avaliação
Módulo ESP32-CAM
Módulo regulador de tensão LM2596
Bateria 12V JGP
Fita Led
Suporte para Amostra
Botão Liga/Desliga
Conector para carregamento da bateria

Fonte: Autoria Própria (2021).

Como a caixa selecionada possui partes arredondadas no interior em seus quatro cantos, o espaço entre estas seções na parte superior e inferior foi utilizado para o posicionamento dos componentes, conforme apresentado na Figura 20.

**Figura 20 - Posicionamento dos componentes dentro da caixa de avaliação**



**Fonte: Autoria Própria (2021)**

Na parte inferior da caixa ficam posicionados a bateria 12V, e o suporte para a amostra. O suporte foi construído com duas peças planas de acrílico com 4mm de espessura, cortadas em CNC Laser e montadas na caixa de forma a cobrir a parte inferior da mesma e a bateria. Na parte superior do suporte foi cortada uma circunferência para o posicionamento da placa de Petri.

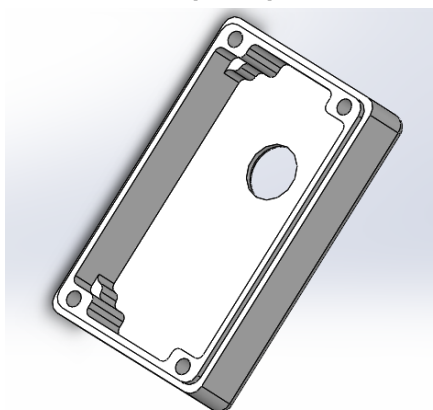
Na parte superior da caixa foi utilizado o mesmo material acrílico para criar o suporte para o módulo ESP32-CAM e o módulo regulador de tensão. A peça fornece o posicionamento adequado para o módulo ESP32-CAM a partir de cortes, feitos para a fixação do módulo com parafusos, além de um corte por onde a fotografia será realizada.

Porém, como mostra a Figura 16, o módulo ESP32-CAM não possui furos para a sua fixação com parafusos, portanto foi preciso construir o suporte, cujo modelo 3D é apresentado na Figura 21.

O botão de ligar e o conector para o carregamento da bateria foram posicionados na parte superior externa da Caixa de Avaliação.



**Figura 21 - Modelo 3D do suporte para o módulo ESP32-CAM**



Fonte: Modificado de COLIM, 2019

### **4.3 Aplicação *Android***

Os procedimentos de análise das fotografias capturadas na Caixa de Avaliação são realizados em uma aplicação *Android*, para tanto, foi necessário desenvolvê-la.

O *Android Studio* é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE, na sigla em inglês), desenvolvido pela *Google*, sendo a plataforma oficial para desenvolvimento em ambiente *Android* ( ANDROID DEVELOPERS, 2021), e foi utilizado para o desenvolvimento da aplicação para o projeto.

A aplicação deve atender aos quesitos apresentados na Figura 14, ou seja, deve realizar a comunicação através de Bluetooth com o microcontrolador ESP-32, usado na caixa de avaliação. Além disso, processa os dados recebidos da Caixa, e apresenta para o usuário, a estimativa do pH do leite e a quantidade de grumos detectados.

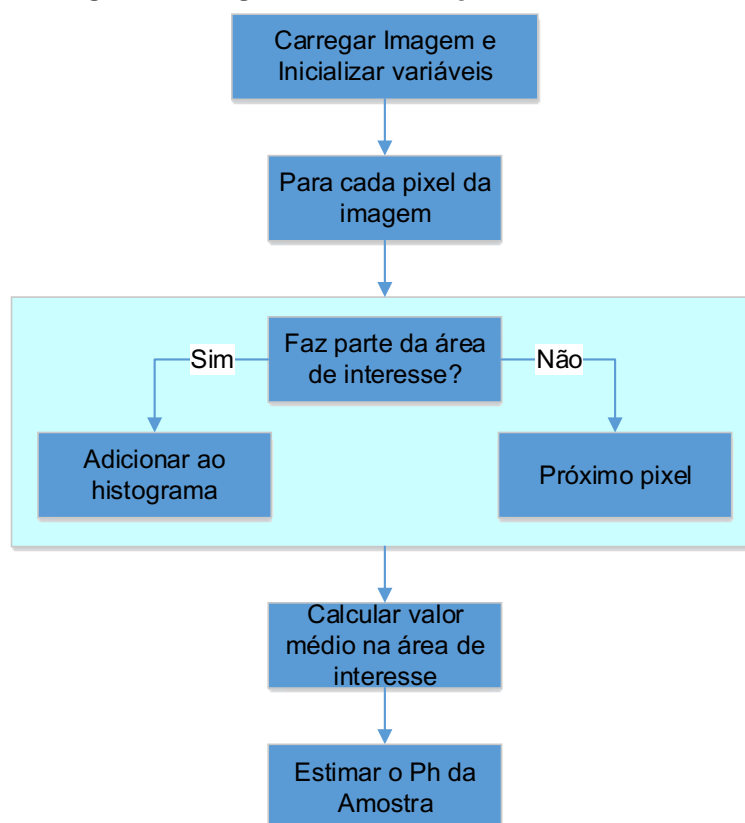
Ainda, a interface da aplicação permite que o usuário realize ações como salvar os resultados calculados no formato apresentado na tela, além de possibilitar a realização de novas avaliações da amostra, caso necessário. O funcionamento da aplicação, as análises realizadas para obtenção dos resultados do teste de alizarol e outros detalhes relevantes serão abordados nas subseções a seguir.

#### **4.3.1 Avaliação da cor**

Uma das avaliações realizadas no teste de Alizarol é a estimativa do pH da amostra a partir da tonalidade da mistura do leite com o álcool. Para realizar esta

análise foi implementado o algoritmo ilustrado na Figura 22. O procedimento para a detecção da cor consiste em analisar todos os pixels dentro de uma região de interesse, transformando a representação de cor dos pixels de RGB para HSV. O valor de H é então utilizado para a criação de um histograma da tonalidade dos pixels dentro da área de interesse. Com o histograma de tonalidades, é calculado o valor médio da tonalidade da região. Este valor será então utilizado na realização da estimativa do pH da amostra a partir de dados de calibração que correlacionam a tonalidade com pH.

**Figura 22 - Fluxograma do algoritmo de avaliação do tom da amostra de leite cru**



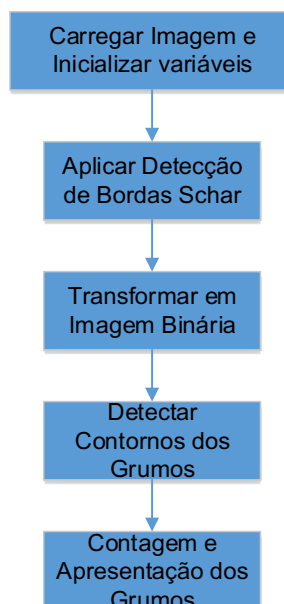
**Fonte: Autoria Própria (2021).**

#### 4.3.2 Detecção dos grumos

Em conjunto com a avaliação do tom da amostra, a detecção da formação ou não formação de grânulos no leite compõem as análises realizadas na avaliação do leite cru pelo teste de Alizarol.

Portanto, para automatizar a realização da avaliação da amostra de leite é necessário detectar se ocorreu a formação de grumos. Isto será feito com o algoritmo apresentado na Figura 23.

**Figura 23 - Fluxograma do algoritmo de detecção de grumos na amostra de leite cru**



**Fonte: Autoria Própria (2021)**

O procedimento consiste em aplicar a detecção de bordas a partir da convolução da imagem original convertida em preto e branco com o operador de Scharr, que transforma a imagem original em uma imagem com os dados do gradiente de variação da imagem original. Uma vez que os grumos formados na amostra possuem cor diferente da amostra em si, haverá um gradiente maior onde houver formação de grumos.

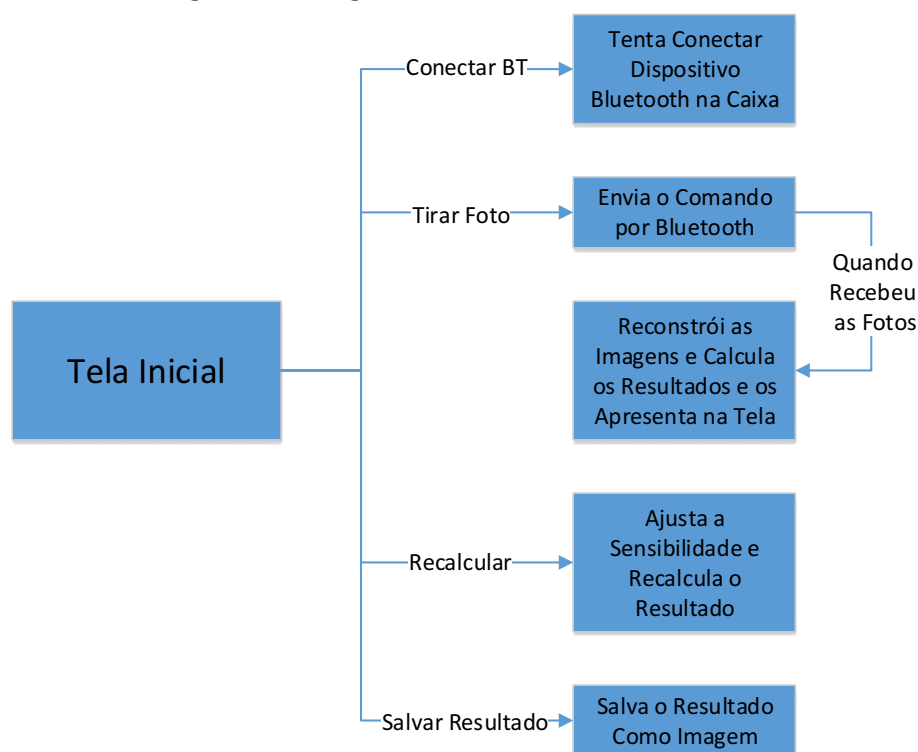
Após a convolução é aplicado um *threshold* ao resultado obtido, transformando assim o gradiente da imagem em uma imagem binária, que deve conter os contornos dos grumos que se formaram na amostra. Finalmente é utilizado um algoritmo de detecção de contornos, na imagem binária, permitindo assim, a quantificação e apresentação dos grumos detectados na amostra.

#### 4.3.3 Funcionamento da Aplicação

A aplicação desenvolvida é responsável pela interface com usuário. Para isso botões são apresentados na tela, e realizam as ações apresentadas na Figura 24. Um

dos botões tem o propósito de realizar a conexão *Bluetooth* com a caixa de avaliação, e em caso de erro apresentará uma mensagem na tela do celular. Outro botão é responsável por enviar o comando para a captura das fotos. Uma vez que o celular já esteja conectado à caixa, após o envio do comando, a aplicação passará a aguardar o envio das imagens. Após a recepção de cada imagem a aplicação faz a conversão dos bytes recebidos para o formato adequado.

**Figura 24 - Diagrama da interface com o usuário**



**Fonte: Autoria Própria (2021)**

Para cada amostra são recebidas duas imagens, uma no formato JPEG, com o tamanho máximo capturado pela câmera, e outra no formato RGB565, que representa a região retangular da imagem de 420x420 pixels, cujo centro foi especificado no complemento do comando enviado anteriormente.

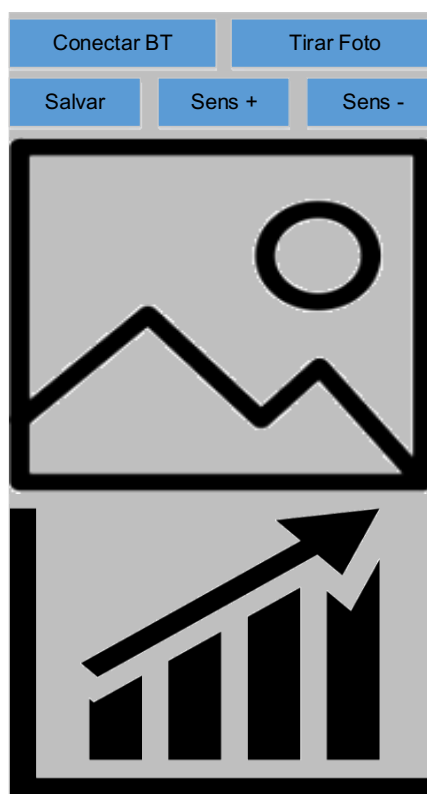
A imagem em formato JPEG é utilizada para a apresentação ao usuário, e a imagem no formato RGB565, para as análises de cor e detecção de grumos, já que os dados da mesma não foram comprimidos e, portanto, não foram modificados.

Uma vez que os resultados forem apresentados ao usuário, este poderá ajustar o *threshold* aplicado no algoritmo de detecção dos grumos, através dos botões na parte superior da aplicação, neste caso o resultado deverá ser recalculado e o novo resultado será apresentado na tela.

Quanto aos dados salvos durante a uso da aplicação, são salvas as duas imagens recebidas pelo *Bluetooth* na memória do celular. Finalmente, o botão salvar realiza uma captura da imagem que é apresentada na tela, e salva a mesma em memória. Dessa forma, as imagens capturadas pela Caixa de Avaliação sempre serão salvas previamente ao processo de análise, enquanto os resultados obtidos somente são salvos caso o usuário selecionar esta opção a partir do botão salvar.

A Figura 25, apresenta o *layout* básico da aplicação *Android*. Na parte superior da tela ficam os botões pelos quais o usuário interage com a aplicação, na parte central, será exibida a foto tirada pela caixa de avaliação, e na parte inferior, serão dispostas informações sobre o processo, como data e hora, o pH estimado da amostra, e a quantidade de grumos que foram detectados.

**Figura 25 - Layout previsto para a Aplicação**



Fonte: Aatoria Própria (2021)

#### **4.4 Procedimento de Utilização**

Esta seção tem por objetivo ilustrar o uso do equipamento em campo pelo motorista do caminhão de coleta do leite, ou laboratorista. O Procedimento é apresentado na Figura 26.

**Figura 26 - Fluxograma de uso do aparelho**

**Fonte: Autoria Própria**

Primeiramente deve-se preparar a amostra a ser analisada, misturando homogeneamente quantidades iguais de leite e de Alizarol. A amostra será então colocada em uma placa de Petri e posicionada dentro da caixa de avaliação, que será então fechada.

Com a amostra posicionada será realizada a conexão Bluetooth entre a caixa e o celular a partir da aplicação *Android*. Após conectados será possível realizar as fotografias da amostra e a transferência delas para o celular, onde serão realizadas as análises. Ao fim das análises, os resultados serão apresentados ao motorista, e este realizará a avaliação dos resultados, podendo se julgar necessário, refazer as fotografias e obter uma nova avaliação da amostra. Poderá ainda salvar os resultados apresentados na tela da aplicação.

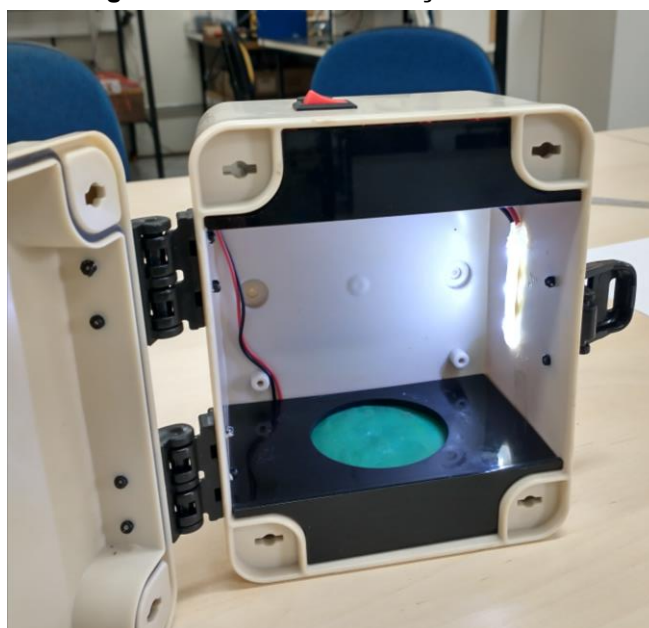
## 5 RESULTADOS

Nesta seção serão discutidos assuntos sobre o desenvolvimento, e avaliação do projeto, focando nos resultados obtidos e nos processos tomados para tanto.

### 5.1 Caixa de Avaliação e Aplicação *Android*

Após a obtenção dos materiais necessários, a Caixa de Avaliação foi montada conforme o planejamento descrito na Seção 4.2. A Figura 27 mostra a Caixa de avaliação montada, pronta para realização de testes de *software*, para utilização em laboratório e para testes em campo. Na parte inferior e superior da Caixa de Avaliação pode-se observar os suportes de acrílico, que possuem a função de proteger os componentes de poeiras e sujidades, além de garantir o posicionamento adequado da câmera e da amostra a ser avaliada.

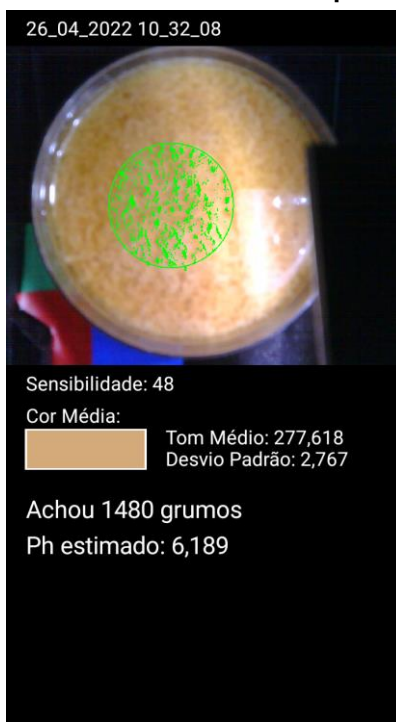
Figura 27 - Caixa de Avaliação Montada



Fonte: Autoria Própria

De forma semelhante, o *software* do sistema microcontrolado e a aplicação *Android* foi desenvolvida seguindo as definições apresentadas nas seções 4.2.2.1 e 4.3 respectivamente. A Figura 28, mostra a apresentação dos resultados na versão final da aplicação.

**Figura 28 - Resultado da análise da amostra de leite apresentado no aplicativo *Android***



**Fonte: Autoria Própria.**

### 5.1.1 Nova Caixa de Avaliação

Durante os testes preliminares do equipamento, foi observado que o tamanho da Caixa de Avaliação dificultaria o uso em campo, onde o motorista do caminhão precisa manusear diversos equipamentos, como a pistola de coleta do leite, celular, régua para medição do volume de leite armazenado. Assim, com o objetivo de facilitar o uso da Caixa de Avaliação em campo, foi desenvolvida uma nova versão dela, tendo dimensões reduzidas, porém seguindo os mesmos princípios da caixa anterior, conforme descrito na Seção 4.2.

A Figura 29 apresenta a nova Caixa de Avaliação. Ela foi modelada no *software* de desenho 3D *Fusion 360*, e impressa em material plástico PLA, com dimensões 7,65 x 7,8 x 13,4 cm. Para atingir o tamanho reduzido, foi preciso substituir a bateria utilizada no projeto, por uma bateria com dimensões menores, portanto foi escolhida uma bateria de lítio JGP de 4,2V, por ser muito semelhante à usada na versão anterior. A fita de LED 12V foi substituída por 3 LEDs de alto brilho brancos, ligados em paralelo, e um módulo de carga TP4056 foi utilizado para permitir o carregamento da bateria com tensão de 5V.



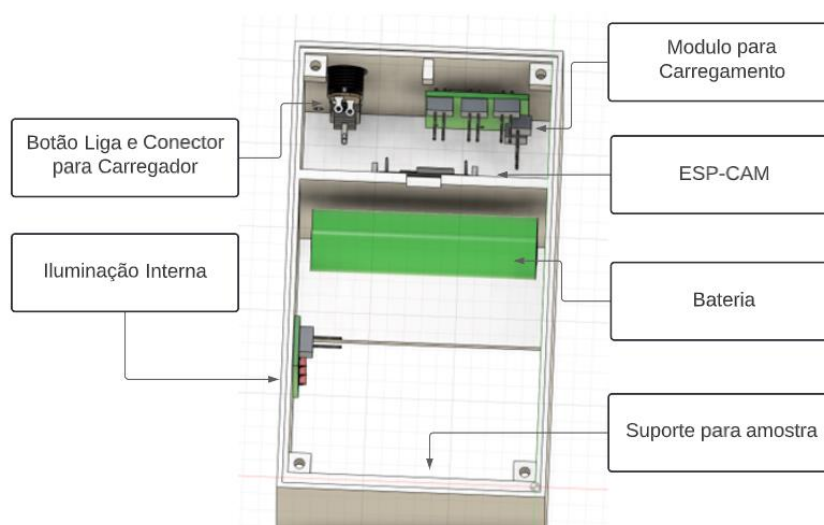
A organização interna da caixa, apresentada pela Figura 30, se assemelha muito com a da versão anterior, onde na parte superior estão fixadas a câmera, e o condicionamento de tensão, a iluminação da amostra é feita lateralmente, e existe um suporte para facilitar o posicionamento da amostra de forma correta.

**Figura 29 - Nova Caixa de Avaliação construída**



Fonte: Autoria Própria.

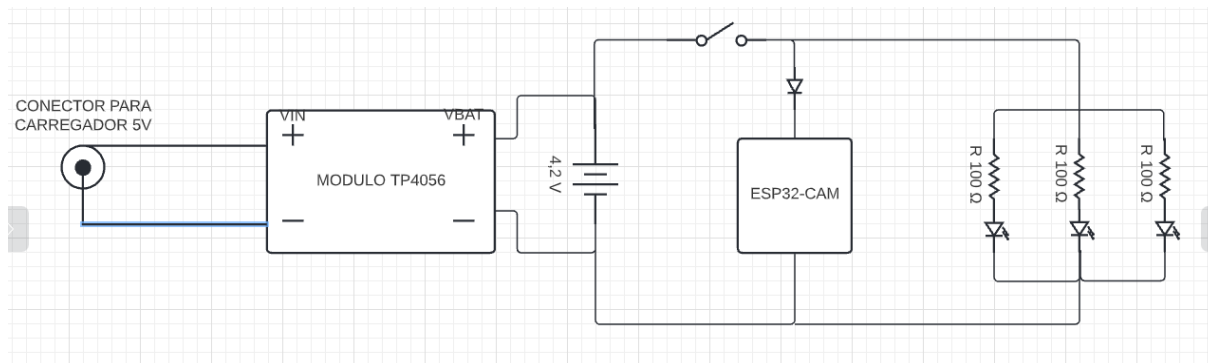
**Figura 30 - Organização interna da Caixa de Avaliação**



Fonte: Autoria Própria.

As ligações internas entre os componentes foram feitas conforme o diagrama esquemático apresentado na Figura 31.

**Figura 31 - Diagrama Esquemático da ligação interna da Caixa de Avaliação**



Fonte: Autoria Própria.

## 5.2 Caracterização da Curva Tonalidade x pH

Uma vez montada a Caixa de Avaliação foi possível a realização de testes em laboratório para determinação da relação entre o pH da amostra de leite e a tonalidade calculada pelo aplicativo de celular.

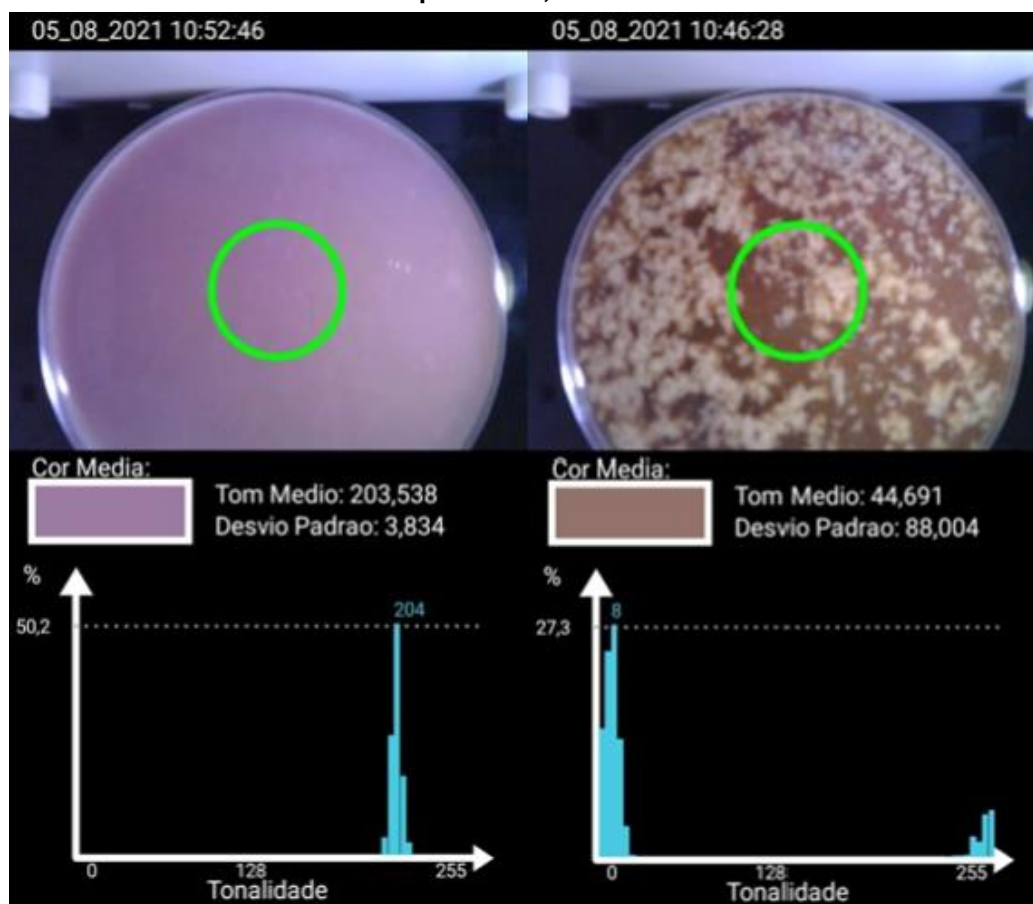
Foram realizados testes de Alizarol em amostras de leite com valores de pH variando entre 6 e 7, com incrementos de aproximadamente 0,1. Cada amostra de leite foi testada com Alizarol 78%, e analisada usando a Caixa de Avaliação.

A Figura 32, mostra o resultado calculado pelo aplicativo Android, que nesta versão, apresenta os seguintes resultados relativos à tonalidade calculada para a amostra:

- Cor Média: Um retângulo com a coloração obtida pelo cálculo dos valores médios dos canais R (*red*), G (*green*) e B (*blue*), dos pixels dentro da região de interesse.
- Tom Médio: O valor médio do canal H (*hue*), dos pixels dentro da região de interesse.
- Desvio Padrão: O desvio padrão dos valores do canal H (*hue*), dos pixels dentro da região de interesse.

Histograma: Histograma da distribuição dos valores do canal H (*hue*), dos pixels dentro da região de interesse.

**Figura 32 - Resultados da Avaliação do teste de Alizarol em amostras de leite com pH de 6,7 a esquerda e 6,4 a direita**



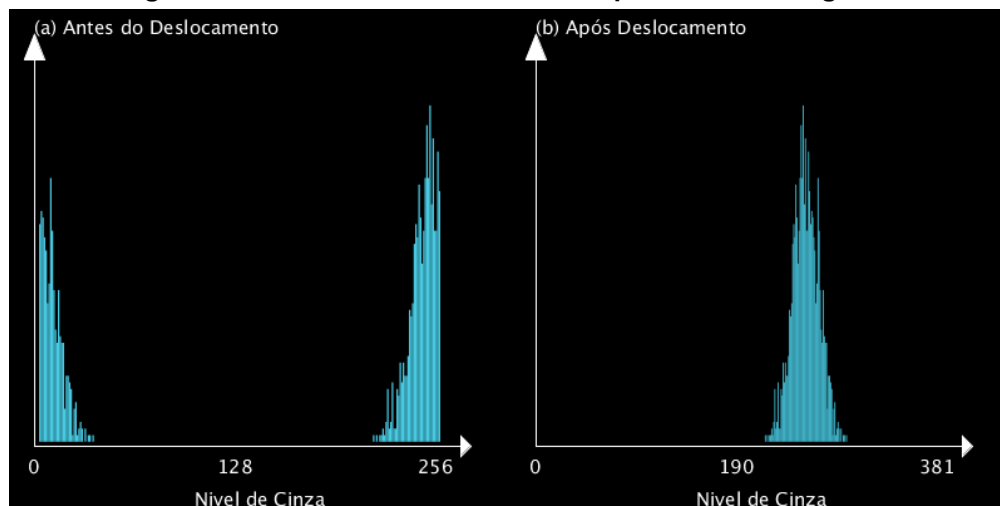
Fonte: Autoria própria.

Avaliando os resultados apresentados na Figura 32, percebe-se que a cor média é muito próxima da cor da amostra na região avaliada, além disso o valor de tom médio é condizente com a distribuição apresentada no histograma para a amostra com pH 6,7. Porém para a segunda amostra o cálculo do valor de tonalidade média não condiz com a distribuição do histograma. Isto se dá pela natureza cíclica do valor do canal de tonalidade, onde ambas as extremidades do canal apresentam colorações muito semelhantes, como pode-se observar pela Figura 6.

Para resolver este problema, foi realizado um deslocamento dos valores do começo do histograma de tonalidade para o final, permitindo assim a realização do cálculo do valor médio, assim como demonstra a Figura 33. Pode-se perceber que com o deslocamento dos valores, o cálculo do valor médio se torna condizente com a distribuição dos dados. Utilizando este artifício para calcular os valores médios de tonalidade e relacionando os mesmos com o valor do pH, das amostras correspondentes, obtém-se o gráfico apresentado na Figura 34. O gráfico ainda permite concluir que para o intervalo de interesse de pH do leite, a tonalidade da

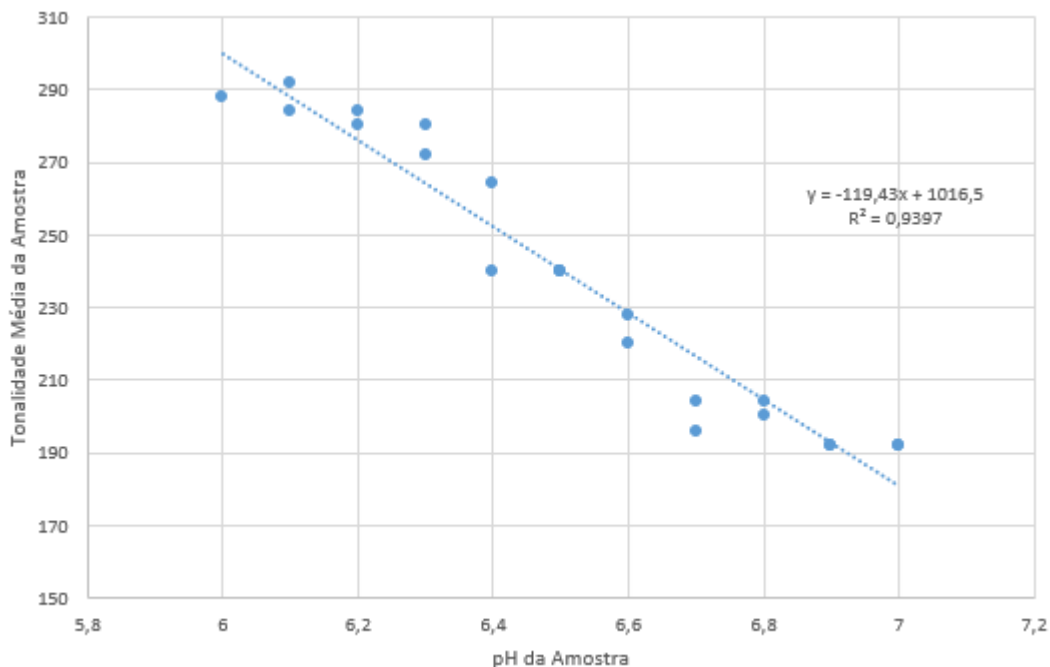
amostra se comporta de maneira linear, a reta obtida apresenta coeficiente de correlação ( $R^2$ ) de 0,9397, indicando que existe uma boa correlação entre as grandezas avaliadas.

**Figura 33 - Deslocamento de Valores Aplicado no Histograma**



Fonte: Autoria Própria.

**Figura 34 - Curva de Tonalidade x pH**



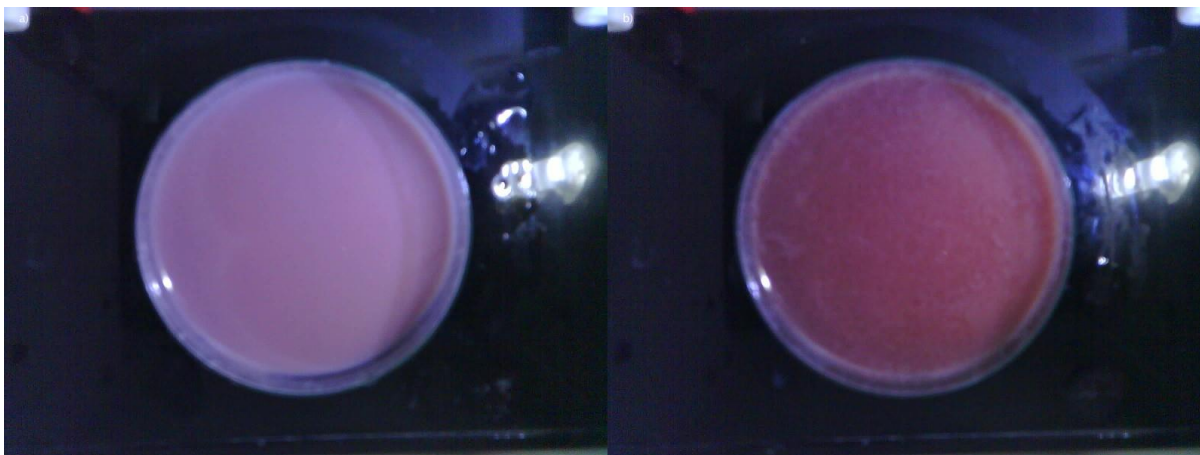
Fonte: Autoria Própria.

### 5.3 Detecção de Grumos

Nesta seção serão discutidos os procedimentos realizados e os resultados obtidos quanto à detecção dos grumos em uma amostra de leite e Alizarol.

Em visita à uma propriedade rural produtora de leite, foram realizados testes com a Caixa Analisadora, para isso foram preparadas duas amostras de leite e álcool Alizarol, uma contendo quantidades iguais e outra com mais álcool para que esta apresentasse grumos, conforme apresentado na Figura 35.

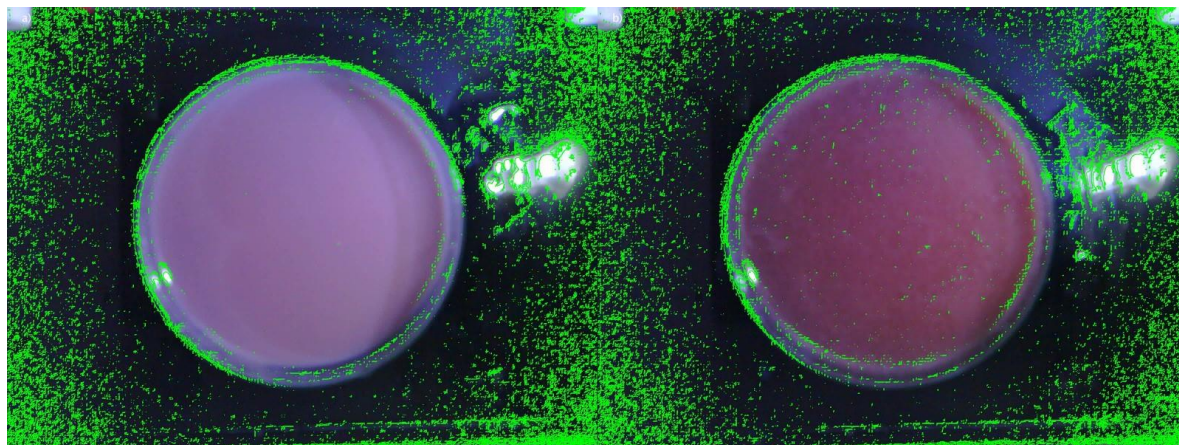
**Figura 35 - Amostras de leite e Alizarol. À direita uma amostra que apresenta formação de grumos, e a esquerda uma amostra sem a formação de grumos**



Fonte: Autoria Própria.

Ao aplicar o algoritmo descrito na seção 4.3.2 nas amostras apresentadas na Figura 35, foram obtidos os resultados apresentados na Figura 36.

**Figura 36 - Resultados da detecção de grumos na amostra sem formação de grumos**



Fonte: Autoria Própria.

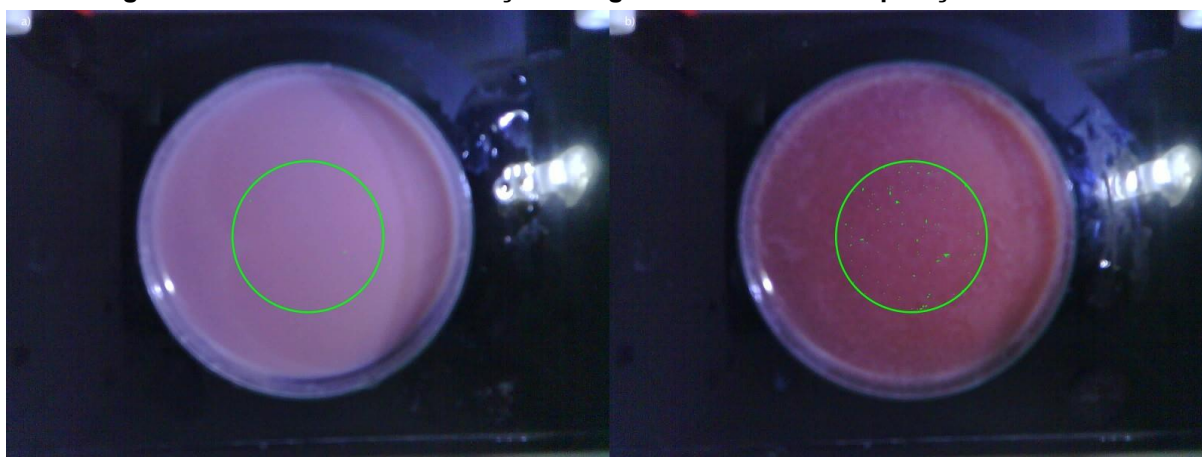
Os pontos verdes na imagem representam os contornos detectados após o processamento da imagem, de forma que estes contornos devem corresponder aos grumos. Pode-se perceber pela Figura 36 que poucos grumos foram detectados dentro da região da amostra sem formação de grumos. Enquanto para a amostra que apresenta formação de grumos, uma quantidade maior de grumos foi detectada dentro da região da amostra.

Ainda se percebe que fora de ambas as amostras existe grande quantidade de grumos detectados de forma equivocada, uma vez que a detecção se dá pela análise da variação de cores.

Portanto, após a detecção dos contornos, se faz necessária a aplicação de um filtro nos contornos detectados, baseada na sua posição. Ainda, uma vez que os grumos têm tamanho pequeno, são esperados contornos pequenos, assim também pode-se filtrar os contornos baseando-se no tamanho, descartando contornos com área acima de um limite.

A Figura 37 apresenta os grumos detectados após a aplicação dos filtros, neste exemplo, todos os grumos fora do círculo verde, e todos os contornos com área maior que 250 pixels, foram descartados.

**Figura 37 - Resultados da detecção dos grumos com filtro de posição e tamanho**



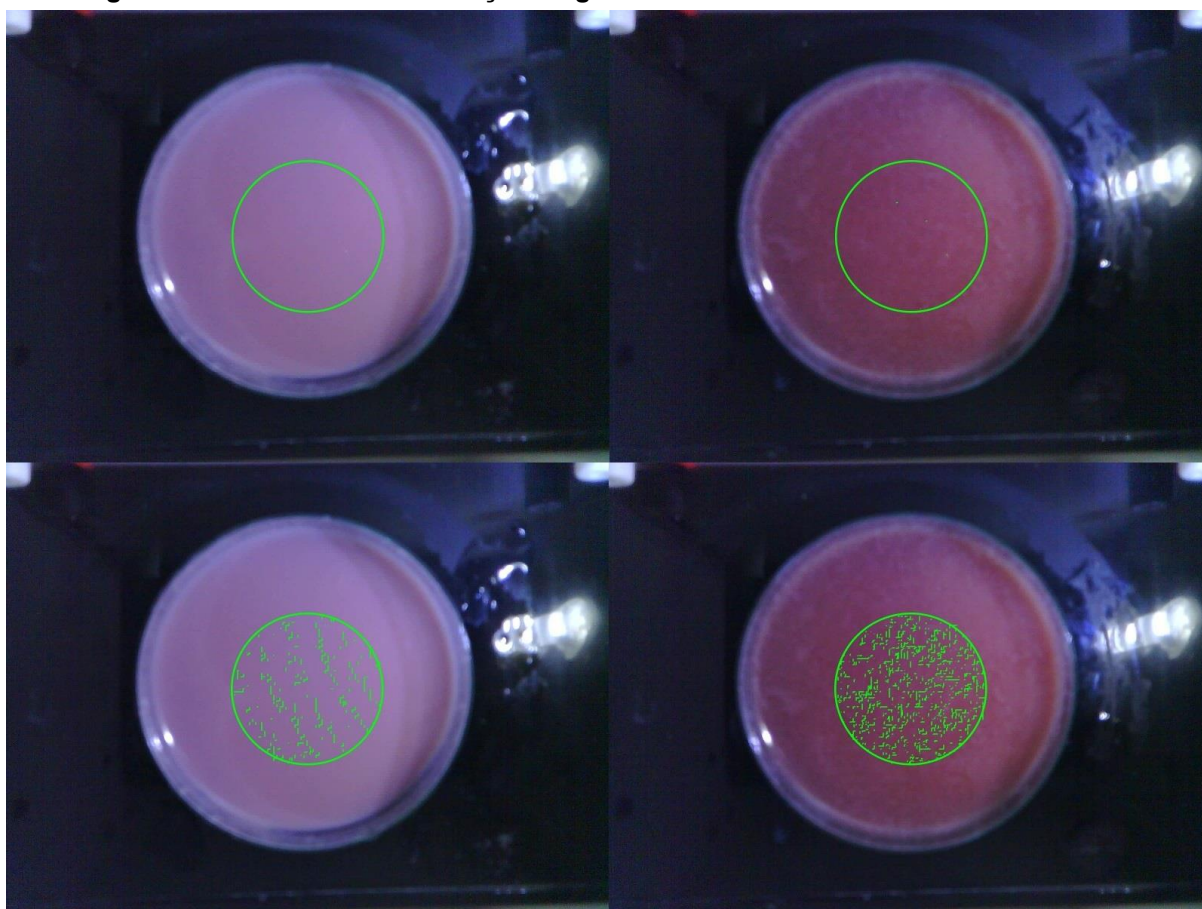
**Fonte: Autoria Própria**

Finalmente pode-se concluir que com a aplicação dos filtros de posição e tamanho é possível determinar a presença de grumos na amostra, descartando falsos positivos.

### 5.3.1 Valor do Limiar

Na Figura 37 foi apresentado o resultado da detecção de grumos usando o valor de limiar de 80, porém o algoritmo é sensível ao valor do limiar aplicado. A Figura 38, exibe os resultados obtidos com as duas amostras da Figura 35, porém usando os valores de limiar de 150 e 30.

**Figura 38 - Resultados da detecção de grumos com limiar de 150 acima e 30 abaixo**



**Fonte: Autoria Própria.**

Verifica-se pela Figura 38 que, com valores pequenos de limiar existe a detecção errônea de grumos na amostra sem eles. Com valores altos de limiar, porém, não ocorre detecção na amostra com grumos. Dessa forma, para a detecção correta é preciso utilizar um valor intermediário para o limiar aplicado, evitando os problemas encontrados com a utilização de valores próximos aos exemplificados anteriormente.

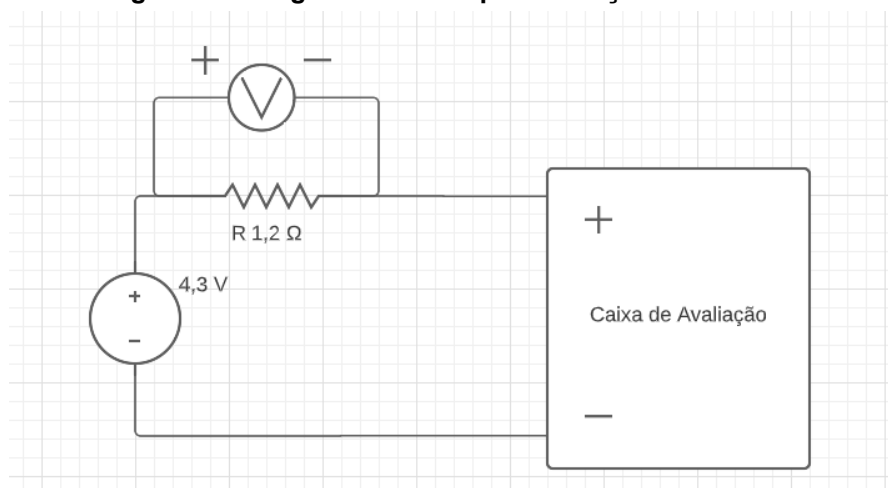
O algoritmo desenvolvido permite que o valor de limiar aplicado seja escolhido pelo usuário, dando liberdade para que o laticínio ou laboratório determine qual o melhor valor do limiar deve ser aplicado e a quantidade de grumos que podem ser

aceitos em uma amostra. Este limiar, portanto, é um parâmetro do aplicativo e deve ser determinado pelo laticínio de acordo com testes e políticas de qualidade próprias.

#### 5.4 Consumo de energia

Para avaliar o consumo de energia da Caixa de Avaliação foi montado um experimento onde foi medida a corrente consumida pela Caixa de Avaliação quando a tensão da bateria é fixada em 4,3V. Para a medição da corrente foi instalado um resistor de  $1,2 \Omega$ , em serie com o aparelho avaliado, como mostrado no diagrama da Figura 39.

**Figura 39 - Diagrama elétrico para medição de corrente**



**Fonte: Autoria Própria.**

O experimento realizado consiste na medição da corrente consumida durante um processo de coleta de dados realizado pela Caixa de Avaliação. A coleta é o processo de ligar a Caixa, conectar o Bluetooth, solicitar e receber as fotos da amostra analisada.

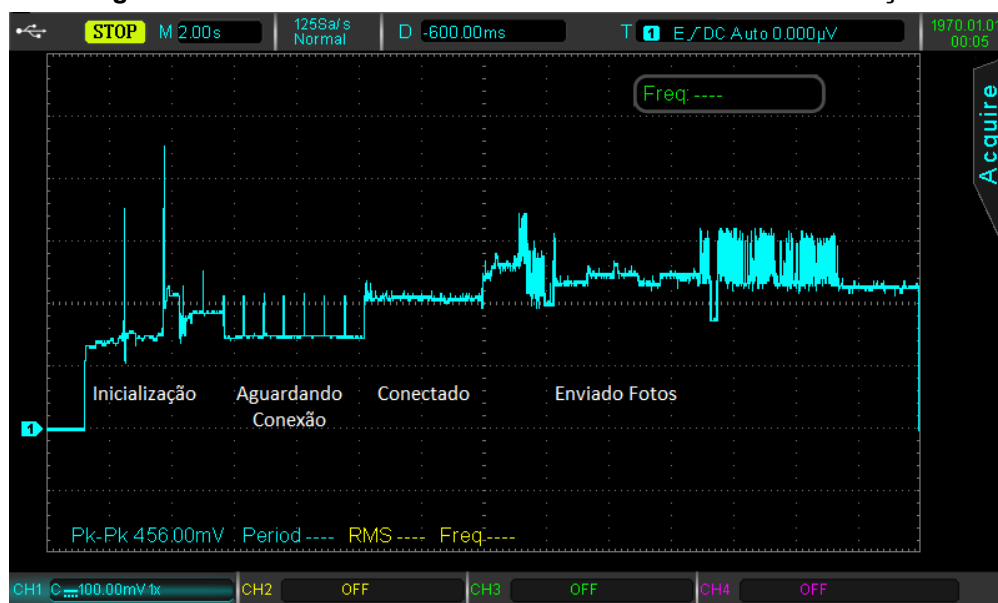
A Figura 40 apresenta o resultado da corrente medida. Pode-se observar alguns picos de corrente durante a inicialização, e o consumo em cada parte do experimento.

Analisando a Figura 40, pode-se considerar, de forma conservadora, uma tensão média de  $350 \text{ mV}$  durante todo o experimento, o que corresponde a corrente média de  $291 \text{ mA}$ . Consumindo assim, durante os  $27 \text{ s}$  de experimento em questão, um total de  $2,18 \text{ mAh}$ . Uma vez que a bateria utilizada possui carga de  $2200 \text{ mAh}$ , o



experimento pode ser repetido, teoricamente, aproximadamente 1000 vezes sem a necessidade de recarregar a bateria.

Figura 40 - Medida do consumo de corrente da Caixa de Avaliação



Fonte: Autoria Própria.

Claramente este valor não será atingido na prática uma vez que baterias de lítio são danificadas quando a energia é drenada a partir de um determinado limiar. Além disso, o experimento foi realizado ao longo de aproximadamente 27 segundos, de forma que é difícil estimar a quantidade de análises que o sistema suporta visto que o tempo de funcionamento para cada análise pode variar de acordo com o operador, por exemplo. Ainda assim, é possível concluir que a bateria utilizada permitirá a leitura de muitas amostras, sendo satisfatória para a aplicação.

## 6 CONCLUSÕES

A crescente preocupação e exigência em relação à qualidade, higiene e segurança dos processos de coleta e transporte de leite gera uma demanda de tecnologias para aumentar a segurança e a confiabilidade nestas atividades. Desta forma, o projeto em questão buscou desenvolver um equipamento capaz substituir uma prática do setor, que consistia na avaliação subjetiva humana da qualidade do leite dada pelo teste com alizarol, para um sistema automatizado e com possibilidade de armazenamento histórico. Este processo consiste em fotografar uma amostra, preparada através da mistura de leite e alizarol em iguais proporções, e avaliar a qualidade da amostra quanto ao seu pH e quanto a presença de grumos.

Para isto, foi utilizado o módulo de microcontrolador ESP32-CAM, instalado em uma caixa projetada e construída especificamente para fotografar uma amostra de leite e enviar a foto para um aplicativo de celular, no qual é realizada a avaliação da amostra.

Quanto à análise do pH da amostra, foi desenvolvido um algoritmo capaz de calcular a tonalidade média da amostra a partir do modelo HSB de cores. Foi verificado em testes laboratoriais a existência de uma relação linear, com coeficiente de correlação de 0,9397, entre a tonalidade média da amostra de leite e alizarol e o seu pH, tornando possível determinar com confiança o pH da amostra no intervalo de 6,0 a 7,0.

Quanto à avaliação dos grumos presentes na amostra, foi desenvolvido um algoritmo capaz de processar a imagem capturada pelo módulo ESP32-CAM. Este algoritmo identifica e quantifica os grumos presentes na amostra a partir de variações da coloração na amostra, descartando grumos detectados de forma incorreta a partir da posição e tamanho dos contornos encontrados. O algoritmo também permite que o usuário determine a sensibilidade para a detecção dos grumos a partir do valor de *threshold* aplicado, de forma que cada laticínio pode determinar o limiar aplicado e a quantidade máxima de grumos permitidos, com base no padrão de qualidade que aceitaria no produto.

Para o uso do equipamento foi criado um aplicativo para celulares *Android*, que se conecta ao *Bluetooth* do microcontrolador, solicita uma foto da amostra, e realiza as análises, apresentando-os na tela do celular para o operador. O aplicativo

ainda salva as imagens recebidas, e os resultados obtidos caso seja solicitado pelo usuário.

Na versão atual da Caixa de Avaliação não existe uma forma de monitorar a tensão da bateria. Além disso as luzes internas sempre ficam ligadas mesmo que a Caixa não esteja fotografando a amostra, sendo um consumo desnecessário de energia. Assim, trabalhos futuros podem modificar o projeto da Caixa de Avaliação para que o microcontrolador controle o momento de acionamento da iluminação interna, ainda pode ser adicionada uma entrada no microcontrolador que monitore a tensão da bateria, alertando quando existe a necessidade de recarregá-la.

Além destas melhorias, trabalhos futuros podem melhorar a interface com a Caixa de Avaliação, aprimorando o aplicativo Android ou ainda permitir o uso do equipamento diretamente em computadores ou *notebooks*, a partir de comunicação USB e uma versão da aplicação para *desktop*.

## REFERÊNCIAS

ALNOURI, M. et al. Comparison of Edge Detection Algorithms for Automated Radiographic Measurement of the Carrying Angle. **Journal of Biomedical Engineering and Medical Imaging**, v. 2, n. 6, Dezembro 2015. Disponível em: <<https://journals.scholarpublishing.org/index.php/JBEMi/article/view/1753/948>>. Acesso em: 08 Novembro 2021.

ANDROID DEVELOPERS. Notas da versão do Android Studio. **Developers**, 2021. Disponível em: <<https://developer.android.com/studio/releases?hl=pt-br>>. Acesso em: 08 Outubro 2021.

BAÚ DA ELETRÔNICA. Módulo Regulador de Tensão LM2596, 2021. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/modulo-regulador-de-tensao-lm2596.html>>. Acesso em: 01 Outubro 2021.

BLUETOOTH. Bluetooth® Wireless Technology. **Bluetooth**, 2021. Disponível em: <<https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>>. Acesso em: 05 Novembro 2021.

BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 62, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2011. **DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO**, Brasília, 29 Dezembro 2011.

BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 77, DE 26 DE NOVEMBRO DE 2018. **DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO**, Brasília, 26 Novembro 2018.

CAEIRO, J. J. Detecção e Agrupamento de Contornos. **Tese aprovada em provas públicas para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Electrotécnica e de Computadores**, Lisboa, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ipbeja.pt/handle/20.500.12207/5072>>. Acesso em: 08 Novembro 2021.

COLIM, J. ESP32 Camera v5 Casing. **Grab Cad**, 2019. Disponível em: <<https://grabcad.com/library/esp32-camera-v5-casing-1>>. Acesso em: 04 Outubro 2021.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 4ª. ed. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 2002. 170 p. Disponível em: <[https://www.academia.edu/34875703/Livro\\_Alvaro](https://www.academia.edu/34875703/Livro_Alvaro)>. Acesso em: 08 Novembro 2021.

CUNHA, A. L. Introdução à Visão Computacional. **Palestra proferida no CEFET-MG**, Belo Horizonte, MG, Maio 2016. Disponível em: <[https://www.stt.eesc.usp.br/andre/palestras/CEFET-MG/01\\_Intro.html](https://www.stt.eesc.usp.br/andre/palestras/CEFET-MG/01_Intro.html)>. Acesso em: 03 Novembro 2021.

DIAS, J. A.; ANTES, F. G. Qualidade físico-química, higiênicosanitária e composicional do leite cru - Indicadores e aplicações práticas da Instrução. **Embrapa Rondonia**, Porto Velho, 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/125963/1/Doc-158-leite.pdf>>. Acesso em: 01 Novembro 2021.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**. 1ª. ed. [S.I.]: Blucher, 2000. 528 p. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=9CbTDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=related:35RROTPneWgJ:scholar.google.com/&ots=zhnLPC8Uzb&sig=FKIVU0l66Xq9cVRRLnMfWLQb9OI#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 03 Novembro 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. Pesquisa Trimestral do Leite - 2º trimestre 2021. **SIDRA - Banco de Tabelas Estatísticas**, 2021. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/leite/brasil>>. Acesso em: 28 Outubro 2021.

JGB ASSISTÊNCIA TÉCNICA. Bateria Li-ion 18650 12v 2200mah Sanyo Com Fio E Termo, 2021. Disponível em: <[https://www.jgpassistencia.com.br/MLB-1756667882-bateria-li-ion-18650-12v-2200mah-sanyo-com-fio-e-termo-\\_JM](https://www.jgpassistencia.com.br/MLB-1756667882-bateria-li-ion-18650-12v-2200mah-sanyo-com-fio-e-termo-_JM)>. Acesso em: 30 Setembro 2021.

JPEG. Overview of JPEG 1. **JPEG**, 2021. Disponível em: <<https://jpeg.org/jpeg/index.html>>. Acesso em: 05 Novembro 2021.

LIMA, M.; RUBIK, E.; MORAIS, R. Introdução ao reconhecimento de imagens. **LAMFO**, 2020. Disponível em: <<https://lamfo-unb.github.io/2020/12/05/Captcha-Break/>>. Acesso em: 03 Dezembro 2021.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento Digital de Imagens**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 1999. Disponível em: <<https://www.ogemarques.com/wp-content/uploads/2014/11/pdi99.pdf>>. Acesso em: 01 Novembro 2021.

MURRAY, J. D.; VANRYPER, W. **Graphics File Formats**. 2ª. ed. [S.I.]: O'REILLY & ASSOCIATES, INC., 1996. Disponível em: <[https://vintageapple.org/macbooks/pdf/Graphics\\_File\\_Formats\\_Second\\_Edition\\_1996.pdf](https://vintageapple.org/macbooks/pdf/Graphics_File_Formats_Second_Edition_1996.pdf)>. Acesso em: 08 Novembro 2021.

NEELAMANI, R. (. et al. JPEG Compression History Estimation for Color Images. **IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING**, v. 15, n. 6, p. 1365-1378, Junho 2006. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1632192>>. Acesso em: 05 Novembro 2021.

OPENCV. About. **OpenCV**, 2021. Disponível em: <<https://opencv.org/about/>>. Acesso em: 08 Novembro 2021.

QUEIROZ, J. E. R. D.; GOMES, H. M. Introdução ao Processamento Digital de Imagens. **RITA**, Campina Grande, Janeiro 2006. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/220162237\\_Introducao\\_ao\\_Processamento\\_Digital\\_de\\_Imagens](https://www.researchgate.net/publication/220162237_Introducao_ao_Processamento_Digital_de_Imagens)>. Acesso em: 2021 Novembro 03.

SANTOS SILVA, A. et al. Avaliação físico-química de leite bovino utilizando pó de repolho roxo (Brassicaoleracea var. Capitata). **53º Congresso Brasileiro de Química**, Rio de Janeiro, Outubro 2013. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2013/trabalhos/7/2674-13946.html>>. Acesso em: 01 Novembro 2021.

SCHUHMACHER. QUADRO MULTIPLAST 160X120X100MM CINZA DF/SC, 2021. Disponível em: <<http://schuhmacher.ind.br/produtos.html?id=487>>. Acesso em: 06 Outubro 2021.

SHIPITKO, O. What does “stride” mean in image processing? **Medium**, 2018. Disponível em: <<https://medium.com/@oleg.shipitko/what-does-stride-mean-in-image-processing-bba158a72bcd>>. Acesso em: 2021 Novembro 05.

WJ COMPONENTES ELETRÔNICOS. ESP32-CAM com Câmera OV2640 2MP, 2021. Disponível em: <[https://www.wjcomponentes.com.br/placas-diversas/esp32-cam?parceiro=6298&gclid=CjwKCAjwkvWKBhB4EiwA-GHjFjTiH-ekKn8xBzGLD3ewsQzsFH\\_X77aLYbG9ElalJe4JGB4UculiyBoCaY4QAvD\\_BwE](https://www.wjcomponentes.com.br/placas-diversas/esp32-cam?parceiro=6298&gclid=CjwKCAjwkvWKBhB4EiwA-GHjFjTiH-ekKn8xBzGLD3ewsQzsFH_X77aLYbG9ElalJe4JGB4UculiyBoCaY4QAvD_BwE)>. Acesso em: 06 Outubro 2021.

ZANELA, M. B. et al. Ocorrência do leite instável não ácido no noroeste do Rio Grande do Sul. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Pelotas, RS, Agosto 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/abmvz/a/fXz3TPYvv7jQMDT9pzJSjmm/?lang=pt>>. Acesso em: 24 Outubro 2021.

ZANELA, M. B.; RIBEIRO, M. E. R.; FISCHER, V. Nível de Instabilidade do Leite ao Álcool. **CIRCULAR TÉCNICA**, Pelotas, RS, n. 189, Junho 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/183079/1/CIRCULAR-189.pdf>>. Acesso em: 15 Outubro 2021.

ZECHNER, M.; DIMARZIO, J. F.; GREEN, R. **Beginning Android Games**. 3ª. ed. Portland, Oregon: Apress, 2016. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=OJ6wDQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-PT#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 05 Novembro 2021.