

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
ENGENHARIA BIOMÉDICA

**DESENVOLVIMENTO DE CÁPSULA ENDOSCÓPICA PARA DIAGNÓSTICO DE
DOENÇAS GASTROINTESTINAIS EM CANINOS**

SÃO PAULO
2024

FATOUMATA WALET SADDO
LAYSA LORENA VICENTE ZUNIGA
LUARA RIZZA SILVA MORAES
VITORIA ARAUJO ROCHA BERTUNES

**DESENVOLVIMENTO DE CÁPSULA ENDOSCÓPICA PARA DIAGNÓSTICO DE
DOENÇAS GASTROINTESTINAIS EM CANINOS**

Monografia final apresentada à Pontifícia
Universidade Católica de São Paulo, como
requisito para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Biomédica.

Orientador: Prof. Dr. Lionel Fernel Gamarra

SÃO PAULO
2024

FATOUMATA WALET SADDO
LAYSA LORENA VICENTE ZUNIGA
LUARA RIZZA SILVA MORAES
VITORIA ARAUJO ROCHA BERTUNES

**DESENVOLVIMENTO DE CÁPSULA ENDOSCÓPICA PARA DIAGNÓSTICO DE
DOENÇAS GASTROINTESTINAIS EM CANINOS**

Monografia final apresentada à Pontifícia
Universidade Católica de São Paulo, como
requisito para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Biomédica.

São Paulo, 25 de novembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr.

Prof. Dr.

Prof. Dr.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão a Deus por nos guiar e fortalecer ao longo deste percurso parcial do trabalho. Somos imensamente gratos às nossas famílias, pelo amor incondicional e suporte constante, que foram fundamentais para a nossa jornada.

Estendemos nossos agradecimentos à Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, um lugar que não apenas nos proporcionou conhecimento, mas também um ambiente enriquecedor para o nosso desenvolvimento acadêmico e pessoal.

Um agradecimento especial ao nosso orientador, Professor Doutor Lionel Gamarra, cuja sabedoria e orientação foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua paciência e conhecimento foram inestimáveis.

Agradecemos também ao Professor Renan Doria, por suas valiosas contribuições e suporte ao longo deste projeto. Seu envolvimento enriqueceu significativamente este trabalho.

A todos os nossos amigos de quatro patas que fazem parte das nossas vidas e nos inspiram SÍRIUS BLACK, PENNY, MAGGIE, PINGO, TOINTOIN, BARTÔ, SOFI, CHORRINHO.

RESUMO

A cápsula endoscópica para diagnóstico de doenças gastrointestinais em cães é uma inovação tecnológica desenvolvida para superar as limitações das técnicas endoscópicas convencionais. O projeto foca no desenvolvimento e validação deste dispositivo, visando oferecer uma solução menos invasiva e mais eficaz para o diagnóstico veterinário. O estudo foi iniciado com a concepção e montagem de um circuito eletrônico, empregando o microcontrolador ESP32-CAM para captura e transmissão de imagens em tempo real, juntamente com o giroscópio MPU-6050 para geolocalização precisa dentro do trato gastrointestinal.

Para o desenvolvimento do protótipo, inicialmente foi realizada uma simulação do sistema no software *Fritzing* apenas com o funcionamento da câmera operando isoladamente, seguida pela montagem física dos componentes em uma *proto-board*. Paralelamente, foi desenvolvida uma interface gráfica em MATLAB® para o processamento das imagens capturadas, incluindo funções de segmentação e detecção de anomalias, como tumores. A interface também permite a visualização em tempo real da localização e orientação da cápsula, utilizando dados inerciais capturados pelo MPU-6050.

Além disso, a interface foi projetada para gerar relatórios automáticos em PDF, documentando as imagens capturadas durante o exame, o que facilita o armazenamento e análise dos dados para futuras consultas. Para validação do protótipo, foram conduzidos testes em ambiente controlado que simula as condições do trato gastrointestinal canino, permitindo a avaliação da qualidade da transmissão de imagens, da precisão da localização e da estabilidade do sistema em condições de baixa luminosidade e trajetórias sinuosas.

Os resultados indicaram que a cápsula endoscópica desenvolvida possui potencial para auxiliar no diagnóstico de doenças gastrointestinais em cães de forma eficaz e segura, apresentando-se como uma alternativa viável às técnicas endoscópicas convencionais. Contudo, foram identificadas limitações relacionadas à resolução da imagem, estabilidade do sistema e dimensionamento da cápsula, apontando para possíveis melhorias no uso de sensores de imagem com maior resolução, na implementação de tecnologias de iluminação aprimoradas para ambientes de baixa luminosidade e miniaturização dos componentes.

A conclusão do estudo sugere que, com aprimoramentos técnicos adicionais e novos testes em cenários clínicos reais, a cápsula endoscópica poderá ser integrada à prática veterinária, proporcionando um método de diagnóstico mais acessível, seguro e menos invasivo para o monitoramento de doenças gastrointestinais em cães.

Palavras-chave: Cápsula endoscópica; Diagnóstico canino; ESP32-CAM; Saúde gastrointestinal; Inovação veterinária; MPU-6050.

ABSTRACT

The endoscopic capsule for diagnosing gastrointestinal diseases in dogs is a technological innovation developed to overcome the limitations of conventional endoscopic techniques. The project focuses on the development and validation of this device, aiming to offer a less invasive and more effective solution for veterinary diagnosis. The study began with the design and assembly of an electronic circuit, employing the ESP32-CAM microcontroller for real-time image capture and transmission, along with the MPU-6050 gyroscope for precise geolocation within the gastrointestinal tract.

For prototype development, the system was initially simulated using Fritzing software, with only the camera operating independently, followed by the physical assembly of components on a protoboard. Simultaneously, a graphical interface in MATLAB® was developed for processing the captured images, including functions for segmentation and anomaly detection, such as tumor identification. The interface also allows real-time visualization of the capsule's location and orientation using inertial data captured by the MPU-6050.

Furthermore, the interface was designed to generate automatic PDF reports, documenting the images captured during the exam, facilitating data storage and analysis for future reference. For prototype validation, tests were conducted in a controlled environment simulating the conditions of the canine gastrointestinal tract, allowing the assessment of image transmission quality, localization accuracy, and system stability in low-light conditions and curved trajectories.

The results indicated that the developed endoscopic capsule has the potential to effectively and safely assist in diagnosing gastrointestinal diseases in dogs, presenting itself as a viable alternative to conventional endoscopic techniques. However, limitations were identified related to image resolution, system stability, and capsule size, highlighting possible improvements such as higher-resolution image sensors, enhanced lighting technologies for low-light environments, and component miniaturization.

The study concluded that with additional technical refinements and new tests in real clinical settings, the endoscopic capsule could be integrated into veterinary

practice, providing a more accessible, safe, and less invasive diagnostic method for monitoring gastrointestinal diseases in dogs.

Keywords: *Endoscopic capsule; Canine diagnosis; ESP32-CAM; Gastrointestinal health; Veterinary innovation; MPU-6050.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais estruturas de um cachorro.....	20
Figura 2 - Imagens de endoscopia. A. Estenose esofágica vista por meio endoscópio. B. Aparência endoscópica da esofagite. Mucosa enantemática, friável, apresentando leve irregularidade e erosões não(indicadas pela seta), resultado da ingestão de uma substância corrosiva. C. Esofagite grave caracterizada por eritema grave, ulceração e mucosa granular em <i>Labrador Retriever</i> de 3 anos.	21
Figura 3 - Radiografia em projeção látero-lateral (dir) identificando com um círculo o corpo estranho.	23
Figura 4 - Colite ulcerativa linfoplasmocitária com úlceras hemorrágicas (setas).	25
Figura 5 - Endoscopia de adenocarcinoma gástrico em um cão. A. Adenocarcinoma difuso. B. Adenocarcinoma focal.....	26
Figura 6 - Equipamento de Fibroscopia. 1.Conector do endoscópio; 2. Tubo com guia de luz; 3. Corpo do controlador; 4. Extremo distal; 5. Seção flexível; 6. Tubo de inserção.....	28
Figura 7 - Posicionamento endoscópico. A – Visibilização de corpo gástrico; B – Visibilização de antro pilórico; C- Visibilização de duodeno; D- Retrovisão para avaliação de fundo gástrico e cárdia.	29
Figura 8 - Diagrama de blocos de uma cápsula endoscópica típica. A cápsula contém: lente com CCD, conjunto de LEDs que iluminam a área de teste, controle microprocessado, transmissor com antena e fonte de alimentação em forma de baterias.	35
Figura 9 - Sistema básico de cápsula endoscópica. É composto por uma cápsula (a), um gravador com antenas colocadas ao lado do paciente (b) e um computador com software para análise de dados (c). Este é um conjunto típico e mais popular de endoscopia por cápsula.	37
Figura 10 - Custo médio de equipamentos para diagnóstico gastrointestinal em animais.....	40
Figura 11 - Custo médio de equipamento de uso gastrointestinais por modalidade.	41
Figura 12 - Custo médio de equipamentos de uso gastrointestinal por tipo.....	41
Figura 13 -Diagrama com as etapas do projeto	44
Figura 14 - Esquema da Cápsula Endoscópica	45

Figura 15 - Componentes eletrônicos. A. AS7262-BLGT ams OSRAM, Colour Sensor, Colour Light 670 nm I2C 20-Pin LGA. B. Microcontrolador ESP-WROOM-32. C. Microcontrolador ESP32-CAM, da marca ESP32, com <i>Wi-Fi</i> e Bluetooth, com câmera OV2640 – 2Mp.	46
Figura 16 - Circuito da cápsula endoscópica na plataforma <i>Fritzing</i> composto por um ESP-32-CAM (A), um ESP-WROOM-32 (B) e um MPU6050 (C).	50
Figura 17 - Circuito esquemático da cápsula endoscópica na plataforma <i>Fritzing</i>	51
Figura 18 - Tela inicial da interface gráfica - dados do paciente	52
Figura 19 - Segunda aba da interface gráfica – monitoramento do exame em tempo real	53
Figura 20 - Terceira aba da interface gráfica - processamento das imagens.....	54
Figura 21 - Biblioteca e definição do endereço I2C.....	54
Figura 22 - Inicialização da comunicação I2C.....	55
Figura 23 - Leitura dos dados do MPU6050.....	55
Figura 24 - Conversão da temperatura e envio dos dados lidos	56
Figura 25 - Dados básicos do <i>pet</i> na tela inicial da interface gráfica.....	57
Figura 26 - Definição do tamanho do sistema gastrointestinal por porte de cachorro e definição dos portes por número dentro de uma propriedade privada no MATLAB.	58
Figura 27 - Função para a atualizar a posição do cilindro.	59
Figura 28 - Visualização 3D da orientação, localização e temperatura da cápsula...	59
Figura 29 - Localização e temperatura da cápsula.....	60
Figura 30 - Circuito elétrico da Cápsula.	62
Figura 31 - Invólucro para os componentes eletrônicos.....	62
Figura 32 - <i>Stream</i> de vídeo.....	63
Figura 33 - Caixa de diálogo que deve ser preenchida pelo usuário com o IP da câmera.	64
Figura 34 - Transmissão da imagem pela interface gráfica.....	65
Figura 35 - Código para implementação do filtro de brilho	65
Figura 36 - Código para implementação do processo de binarização.....	66
Figura 37 - Código para implementação do filtro de fluorescência.....	66
Figura 38 - Código para implementação do filtro de overlay	67
Figura 39 - Código para implementação do filtro de pseudo-coloração	67

Figura 40 - Código para implementação do filtro de CLAHE.....	68
Figura 41 - Código para implementação do cálculo da área	69
Figura 42 - Processamento de imagens.....	70
Figura 43 - Laudo de endoscopia - PDF	71
Figura 44 - Processamento das imagens PDF.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comprimento médio do trato digestório.....	20
Tabela 2 - As principais cápsulas comercializadas para uso humano.	33
Tabela 3 - Cápsulas endoscópicas existentes no mercado para uso veterinário.	34
Tabela 4 - Equipamentos e seus respectivos custos no mercado.....	40
Tabela 5 - Pinagem do Módulo ESP32.	61
Tabela 6 - Comparação de cápsulas endoscópicas veterinárias e a EndoPet.....	73

LISTA DE ABREVIações E SÍMBOLOS

CCD	Charge-Coupled Device
CE	Cápsula Endoscópica
CEEs	Corpos Estranhos Esofágicos
CLAHE	Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CSS	Cascading Style Sheets
DII	Doença Inflamatória Intestinal
DVG	Dilatação Volvo Gástrica
FDA	Food and Drug Administration
GIST	Tumores Estromais Gastrointestinais
GND	Ground (Terra)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IP	Internet Protocol (Protocolo de Internet)
HTML	HyperText Markup Language
LED	Light-Emitting Diode
NM	Não Mencionado
PH	Potencial Hidrogênico
SDA	Serial Data Adapter
SII	Síndrome do Intestino Irritável
TGI	Trato Gastrointestinal
USB	Universal Serial Bus
VCC	Volts por Corrente Contínua

SUMÁRIO

1 Introdução.....	18
1.1 A evolução da integração dos caninos no núcleo familiar.....	18
1.2 Doenças gastrointestinais em cães.....	19
1.2.1 Afecções gastrointestinais.....	21
1.2.2 Gastroenterites agudas inespecíficas.....	22
1.2.3 Infecções virais, parasitárias ou bacterianas.....	22
1.2.4 Reações adversas ao alimento e a corpos estranhos.....	22
1.2.5 Doença inflamatória intestinal.....	23
1.2.6 Pancreatopatias.....	24
1.2.7 Colite.....	24
1.2.8 Torção gástrica.....	25
1.2.9 Neoplasia Gástrica.....	25
1.3 Tecnologias convencionais para avaliação de doenças gastrointestinais.....	26
1.3.1 Endoscopia gastrointestinal.....	26
1.3.1.1 Instrumental do exame endoscópio.....	27
1.3.1.2 Procedimento da endoscopia gastrointestinal alta.....	28
1.3.1.3 Indicações e aplicações.....	29
1.3.1.4 Limitações, complicações e contraindicações.....	30
1.4 Fundamentação de cápsulas endoscópicas.....	31
1.4.1 Contextualização e evolução da cápsula endoscópica no mercado.....	31
1.4.2 Estrutura da cápsula endoscópica.....	34
1.4.3 Funcionalidade da cápsula endoscópica.....	36
1.4.4 Locomoção e orientação da cápsula endoscópica.....	37
1.4.5 Localização e transmissão de imagens da cápsula endoscópica.....	37
1.4.6 Gestão Energética da cápsula endoscópica.....	38

1.4.7 Biossensores.....	38
1.4.8 Sistema visual da cápsula	38
1.5 Avaliação de custos para os diagnósticos.....	39
2. Objetivos.....	43
2.1 Objetivos gerais.....	43
2.2 Objetivos específicos.....	43
3 Metodologia.....	44
3.1 Desenvolvimento da cápsula.....	44
3.1.1 Esboço do circuito.....	44
3.1.2 Descrição dos componentes.....	45
3.1.2.1 Sensores.....	45
3.1.2.2 Armazenamento de Dados.....	45
3.1.2.3 Microcontrolador.....	45
3.2 Montagem do protótipo.....	46
3.3 Desenvolvimento da interface do software de aquisição de imagens.....	46
3.4 Implementação da geolocalização.....	47
3.5 Captação e transmissão de imagem.....	47
3.6 Processamento de imagem.....	48
3.7 Validação da cápsula endoscópica.....	48
4 Resultados.....	50
4.1 Desenvolvimento da cápsula.....	50
4.2 Desenvolvimento da interface gráfica.....	51
4.3 Implementação da geolocalização.....	54
4.4 Montagem do protótipo.....	60
4.5 Captação, transmissão e processamento de imagem.....	62
4.6 Validação da cápsula.....	72

5 Conclusão.....	74
6 Perspectivas do trabalho.....	76
7.Referências Bibliográficas.....	77
ANEXOS	89

1. Introdução

Desde o primeiro relato do uso da endoscopia gastrointestinal em medicina veterinária de pequenos animais em 1976 por Johnson, a técnica evoluiu significativamente, sendo amplamente utilizada atualmente. Essa prevalência se deve ao fato de que as afecções gastrointestinais são uma das principais razões pelas quais os tutores de animais de estimação buscam assistência veterinária, apenas superadas pelas consultas dermatológicas (SILVA, 2020).

Apesar dos avanços, a endoscopia convencional ainda apresenta desafios significativos por ser um procedimento invasivo que pode causar dor, requer anestesia e é incapaz de visualizar completamente o sistema gastrointestinal, deixando partes do intestino delgado inexploradas (G. Pan e L. Wang, 2012). Diante disso, houve a introdução da cápsula endoscópica (CE) em 2000, em que oferece uma nova perspectiva para visualizar internamente o trato gastrointestinal em sua totalidade e de forma indolor (G. Ciuti et al, 2011).

O capítulo apresentado a seguir aborda as bases de informações acerca do desenvolvimento de uma cápsula endoscópica especificamente para uso veterinário. Explorando como essa tecnologia inovadora pode transformar os diagnósticos em medicina veterinária, proporcionando uma abordagem diagnóstica menos invasiva e mais confortável para os animais.

1.1 A evolução da integração dos caninos no núcleo familiar

A criação de animais de estimação se intensificou a partir dos séculos XVI e XVII com a melhoria da qualidade de vida da população, possibilitando a criação de animais sem a finalidade econômica (SANTOS E GIUMELLI, 2016). Isso porque, às mudanças nos hábitos sociais e culturais, ressignificou o papel e a importância dos animais no núcleo familiar e na rotina das pessoas (ELIZEIRE, 2013).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do ano de 2013, há 52,2 milhões de cães e 22,1 milhões de gatos domiciliados, sendo que 44% dos domicílios apresentam pelo menos um cão e 17% ao menos um gato, o que resulta em número total de cães superior ao de crianças no país. Esses dados conferem ao Brasil o segundo lugar mundial em número total de cães e gatos, atrás apenas dos Estados Unidos. Em relação as regiões do Brasil, a que se destaca com a maior concentração de animais de estimação é a região Sudeste com 47,4%;

seguido pela Nordeste com 21,4%; Sul com 17,6%; Centro-Oeste com 7,2% e Norte com 6,3%.

Essa valorização dos animais como membros da família não apenas alterou as expectativas em relação ao cuidado e à atenção que eles recebem, mas também impulsionou significativamente o desenvolvimento e a especialização da assistência veterinária. Dessa forma, a necessidade de cuidados veterinários também se intensificou. Esta tendência reflete uma mudança na percepção dos proprietários que, reconhecendo seus animais não apenas como companheiros, mas como membros valiosos da família, investem em cuidados preventivos abrangentes, como vacinações e exames regulares (Keeling et al., 2011).

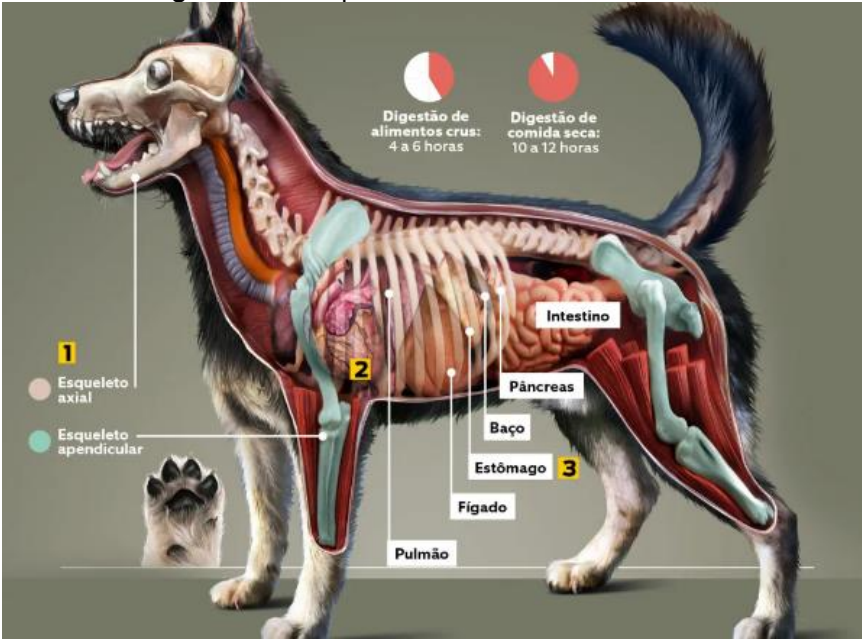
A sensibilização sobre os custos de manutenção dos animais de estimação é importante para um planejamento financeiro eficaz por parte dos tutores. Segundo dados da Abinpet (Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação), os custos mensais para cães variam de R\$ 216,50 a R\$ 411,32, dependendo do tamanho do animal. Esses valores ressaltam a importância de estar financeiramente preparado para os gastos necessários ao cuidado adequado dos *pets*.

1.2 Doenças gastrointestinais em cães

Os avanços na medicina veterinária têm melhorado o diagnóstico e tratamento de doenças caninas, incluindo as gastrointestinais (Theodoro, s.n.). A estrutura canina é complexa e dividida em áreas como externa, osteologia, artrologia, miologia e órgãos internos (Ekenstedt et al., 2020). A Figura 1 mostra essas estruturas (Boch et al., 2023).

Os cães têm onze sistemas corporais, incluindo o digestivo, que começa na boca e passa pelo esôfago, estômago, intestinos, fígado e pâncreas, até o ânus (Boch et al., 2023). Doenças gastrointestinais podem afetar significativamente esses sistemas e incluem condições como megaesôfago, esofagite, gastroenterites, infecções, reações alimentares adversas, doença inflamatória intestinal, pancreatopatias, colite, constipação, torção gástrica e tumores (Jericó et al., 2015).

Figura 1 - Principais estruturas de um cachorro.



Fonte: Alexandre Jubran (2024).

Para avaliar o comprimento médio do trato digestório dos cães e sua relação com possíveis obstruções intestinais, diversos estudos foram conduzidos. A tabela 1 a seguir resume os achados relevantes dos estudos revisados, indicando os valores normais do trato digestório em diferentes portes de cães:

Tabela 1 – Comprimento médio do trato digestório.

Porte	Comprimento médio do trato digestório (metros)	Localização
Cão muito pequeno	1,5 – 2,5 m	- Boca ao esôfago 0 - 0,2m - Estômago 0,2 -0,5m - Intestino delgado: 0,5 - 1,5m - Intestino grosso: 1,5 - 2,5m
Cão pequeno	2,5 – 4,0 m	- Boca ao esôfago 0 - 0,3m - Estômago 0,3 -0,7m - Intestino delgado: 0,7 - 2,5m - Intestino grosso: 2,5 - 4,0m
Cão médio	4,0 – 5,5 m	- Boca ao esôfago 0 - 0,4m - Estômago 0,4 - 1,0m - Intestino delgado: 1,0 - 4,0m - Intestino grosso: 4,0 - 5,5m
Cão grande	5,5 – 7,0 m	- Boca ao esôfago 0 - 0,5m - Estômago 0,5 -1,2m - Intestino delgado: 1,2 - 5,5m - Intestino grosso: 5,5 - 7,0m
Cão muito grande	7,0 – 9,0 m	- Boca ao esôfago 0 - 0,6m - Estômago 0,6 -1,5m - Intestino delgado: 1,5 - 7,0m - Intestino grosso: 7,0 - 9,0m

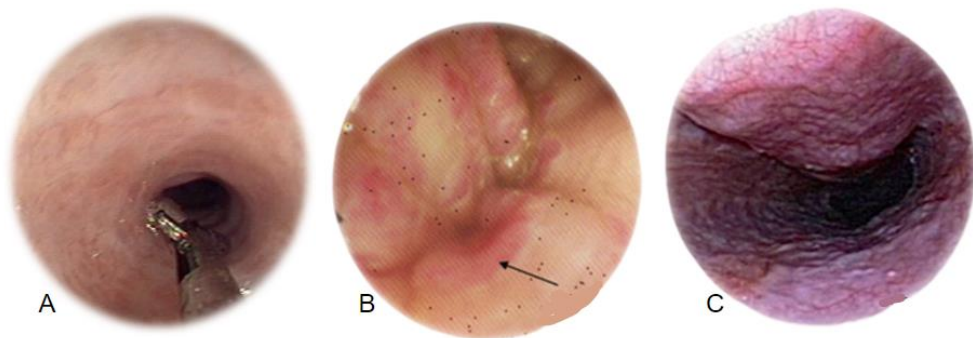
Fonte: Adaptado de Budras, K-D., et al. Evans, H.E., et al. Hall J.E.

1.2.1 Afecções gastrointestinais

As afecções gastrointestinais em cachorros abrangem uma gama de condições que podem comprometer a saúde e o bem-estar do animal, afetando o esôfago, estômago e intestinos. Entre as afecções esofágicas, o megaesôfago é um desafio significativo, podendo ser congênito ou adquirido. Nesta condição, o esôfago dilata e perde a capacidade de propulsar o alimento até o estômago, resultando em sinais clínicos como regurgitação, emagrecimento, desidratação, fraqueza, dispneia e tosse (Ferreira, 2021).

As estenoses esofágicas (Figura 2A), caracterizadas pelo estreitamento patológico do esôfago, geralmente ocorrem devido a processos inflamatórios ulcerativos que se expandem para outras camadas, ou após ingestão de substâncias corrosivas ou esofagite (Luciani et al., 2017). A esofagite, inflamação do esôfago, é normalmente causada por refluxo ácido do estômago, mas também pode resultar da ingestão de corpos estranhos ou substâncias abrasivas. Na Figura 2B-C, é possível observar a aparência endoscópica da esofagite. Os sintomas incluem regurgitação, dor, letargia, perda de apetite e dificuldade em engolir (Barcellos, 2012).

Figura 2 - Imagens de endoscopia. **A.** Estenose esofágica vista por meio endoscópio. **B.** Aparência endoscópica da esofagite. Mucosa enantemática, friável, apresentando leve irregularidade e erosões não indicadas pela seta), resultado da ingestão de uma substância corrosiva. **C.** Esofagite grave caracterizada por eritema grave, ulceração e mucosa granular em *Labrador Retriever* de 3 anos.



Fonte: Adaptado de Theodoro, 2018.

As afecções no estômago podem ser divididas em: alterações da motilidade, gastrite, torção, úlceras e neoplasias. Enquanto as afecções do intestino podem ser classificadas em enterite, colite, doença inflamatória intestinal (DII),

síndrome do intestino irritável (SII), obstrução intestinal, parasitoses intestinais e infecções bacterianas. (Theodoro, 2018)

A gastrite pode ser categorizada em aguda ou crônica. Normalmente, a aguda acomete cães e gatos e possui muitos fatores que podem levar a erosões e ulcerações gástricas, por exemplo, a utilização de anti-inflamatório não esteroide, entre outros. (Da Silva et. al, 2015.)

Todas as afecções anteriormente citadas podem causar desconforto nos cachorros e requerem intervenção veterinária para diagnóstico adequado e tratamento. A detecção precoce é fundamental para a recuperação do cão. (Morillon et al., 2013)

1.2.2 Gastroenterites agudas inespecíficas

As gastroenterites agudas inespecíficas em cachorros são uma categoria que lesiona o trato gastrointestinal, podendo causar inflamação que normalmente levam ao vômito e a diarreia. Geralmente, as causas estão ligadas a questões dietéticas, como a ingestão de alimentos gordurosos, estragados, mudanças bruscas e repentinas na dieta ou até mesmo a deglutição de substâncias não comestíveis. Outras causas comuns são as infecciosas, através de bactérias, vírus, parasitas e vermes ou toxinas. (BragaP. F. et. Al, 2014)

1.2.3 Infecções virais, parasitárias ou bacterianas

As doenças em cachorros são causadas por infecções virais, parasitárias e bacterianas, afetando sistemas como digestivo, respiratório e tegumentar. A parvovirose e cinomose são infecções virais perigosas. Enquanto, as infecções parasitárias, causadas por vermes e ectoparasitas como pulgas e carrapatos, são controláveis com tratamentos específicos. Infecções bacterianas são tratáveis com antibióticos. (BragaP. F. et. Al, 2014)

A prevenção inclui vacinação, controle de parasitas e higiene adequada para manter a saúde dos cães e evitar a transmissão de doenças. (Morillon et al., 2013)

1.2.4 Reações adversas ao alimento e a corpos estranhos

As alergias alimentares em cães são pouco compreendidas e representam cerca de 1% das dermatoses caninas, causando estresse nos animais e preocupação nos proprietários. Existem alergias alimentares (respostas imuno mediadas) e

intolerâncias alimentares (não imuno mediadas) (Amaral et al., 2022). Reações adversas à comida podem ser imunológicas (alergias) ou químicas/tóxicas (intolerâncias) (Harvey & Hall, 2009).

A ingestão de objetos inanimados, ou corpos estranhos esofágicos (CEEs), pode bloquear o esôfago. Comuns são ossos e objetos pontiagudos (Radlinsky, 2013; Nelson e Couto, 2010). Ossos são frequentemente causas dessas obstruções (Rousseau et al., 2007; Gianella et al., 2009). Outros exemplos incluem bolas de pelo e brinquedos (Nelson e Couto, 2010). CEEs podem ser radiotransparentes ou radiopacos, influenciando o tratamento (Tams e Spector, 2011).

Diagnósticos de CEEs utilizam radiografias, ultrassons ou endoscopia. A Figura 3 mostra uma radiografia identificando um corpo estranho esférico.

Figura 3 - Radiografia em projeção látero-lateral (dir) identificando com um círculo o corpo estranho.



Fonte: Adaptado de Montanhim, et. al. (2016)

1.2.5 Doença inflamatória intestinal

A Doença Inflamatória Intestinal (DII) inclui distúrbios gastrointestinais crônicos e idiopáticos com inflamação da mucosa (Jergens et al., 1992; Jergens, 1999). Reconhecida amplamente em cães e gatos desde os anos 1980, seu entendimento cresceu nos últimos 30 anos.

Um estudo da Pesquisa Veterinária Brasileira avaliou 20 cães com sintomas gastrointestinais crônicos, correlacionando sinais clínicos com biópsias gastroduodenais. Observou-se uma relação entre perda de peso e enantema no estômago e duodeno, além de apetite alterado e infiltrado inflamatório gástrico.

O estudo destaca a importância de sinais clínicos como perda de peso e apetite alterado na avaliação da DII e recomenda diagnósticos personalizados com raios-x, ultrassons e endoscopia (Cascon et al., 2017)

1.2.6 Pancreatopatias

A pancreatite é uma patologia inflamatória grave do pâncreas, que pode ser crônica ou aguda, e é frequentemente subdiagnosticada. Os sintomas variam de acordo com a gravidade da condição e podem incluir dor abdominal intensa, vômito e desidratação.

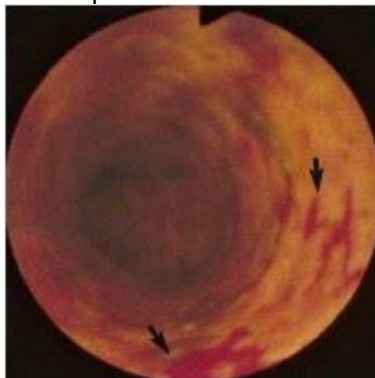
Para realizar o diagnóstico da pancreatite em cães são necessários uma combinação de exames laboratoriais, teste de imagem como ultrassonografia e, em alguns casos análise histopatológica. Enquanto o tratamento envolve o manejo dos sintomas, como controle da dor e da náusea, além de hidratação intensiva e ajustes dietéticos. (Nascimento, 2021)

1.2.7 Colite

A colite é uma doença ulcerativa em cães que afeta principalmente os intestinos e geralmente acomete mais as raças de *Boxers* e *Bulldogs Franceses*. Esta condição, assim como a pancreatite, pode ser crônica ou aguda e é caracterizada por uma inflamação exagerada das mucosas do intestino grosso, com um aumento significativo de macrófagos e linfócitos, resultando em espessamento do tecido, alterações glandulares e formação de úlceras.

Os sinais clínicos desta doença são inespecíficos e incluem aumento da frequência de defecação, tenesmo – vontade intensa de evacuar -, fezes fétidas e com sangue, e em alguns casos, perda de peso e apetite reduzido. O diagnóstico é confirmado através da biópsia, exames de imagens (Figura 4) e exame histopatológico, que revelam a presença típica de infiltrados inflamatórios. (Peters, 2021)

Figura 4 - Colite ulcerativa linfoplasmocitária com úlceras hemorrágicas (setas).



Fonte: Tams & Rawlings (2011).

1.2.8 Torção gástrica

A Síndrome da Dilatação Volvo Gástrica (DVG) é uma condição grave que afeta principalmente cães de grande porte com tórax profundo. Caracteriza-se pela dilatação e torção do estômago, impedindo a eructação e o esvaziamento, e causando obstrução mecânica ou funcional.

Os sintomas incluem distensão abdominal, dor intensa, depressão, hipersalivação, tentativas de vômito sem sucesso e sinais de choque. Sem tratamento rápido, pode ser fatal devido à necrose tecidual e choque circulatório.

O diagnóstico é feito pelos sinais clínicos e confirmado por radiografias abdominais e endoscopia. O tratamento envolve descompressão imediata do estômago, métodos conservadores ou cirúrgicos, e suporte com fluidoterapia, controle da dor e estabilização geral (Faria, 2019).

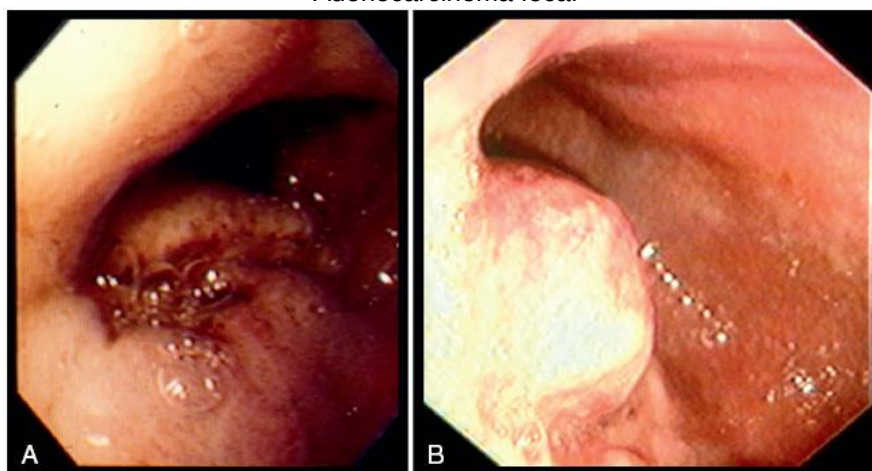
1.2.9 Neoplasia Gástrica

Assim como nos humanos, os tumores podem afetar diferentes regiões e sistemas dos cães, desde a boca até o ânus, sendo classificados como benignos ou malignos. Os tumores benignos são compostos por células semelhantes às originais e não causam câncer, enquanto os malignos resultam da replicação desordenada das células.

O adenocarcinoma (figura 5) é a neoplasia gástrica mais comum em cães, responsável por 47 a 72% das doenças gástricas caninas, ocorrendo frequentemente na curvatura menor e região pilórica, com metástases frequentes. O linfoma, comum em cães, geralmente se origina na submucosa gástrica e pode ser difuso ou nodular (Leandro, et al., 2016).

Os tumores estromais gastrointestinais (GIST) em cães são raros, originando-se de células mesenquimais com potencial de diferenciação pluripotencial. Sintomas incluem prostração, anorexia, perda de peso e melena, além de anemia não regenerativa e leucocitose. O diagnóstico requer análise imuno-histoquímica para diferenciar GIST de outros sarcomas, utilizando marcadores específicos como CD117 e vimentina (Leandro, et al., 2016).

Figura 5 - Endoscopia de adenocarcinoma gástrico em um cão. **A.** Adenocarcinoma difuso. **B.** Adenocarcinoma focal



Fonte: Adaptado de Leandro, et. al., 2016.

1.3 Tecnologias convencionais para avaliação de doenças gastrointestinais

1.3.1 Endoscopia gastrointestinal

A endoscopia é um método diagnóstico e terapêutico que permite a observação direta das mucosas de várias partes do corpo, como o sistema respiratório, gastrointestinal, trato urinário, cavidade torácica, abdômen e articulações (AZEVEDO, 2006). Esse procedimento é particularmente versátil, utilizada para diagnóstico e tratamento de condições variadas, incluindo esofagoscopia, gastroscopia, enteroscopia (duodenoscopia, jejunoscopia, ileoscopia), e colonoscopia. Ela permite a biópsia de tecidos gastrointestinais, coleta de amostras citológicas, remoção de corpos estranhos, inserção de tubos alimentares, técnicas de dilatação para estenoses e polipectomias (TAMS, 2011; Tams & Rawlings, 2011).

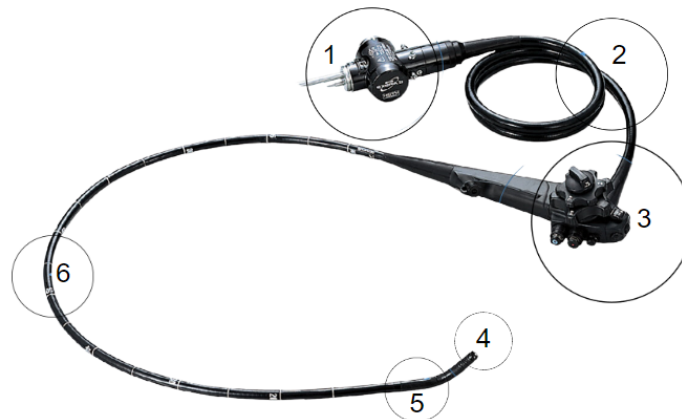
1.3.1.1 Instrumental do exame endoscópico

Na avaliação endoscópica do trato gastrointestinal (TGI) canino, utilizam-se técnicas de endoscopia rígida e flexível, cada uma adequada a aplicações específicas. A endoscopia rígida, feita com tubos de aço inoxidável ou cobre, é ideal para inspecionar o esôfago, remover corpos estranhos e examinar o reto e o cólon distal. Este método permite a introdução de pinças rígidas através de um canal de trabalho para coleta de amostras biológicas (TAMS, 2005). Os endoscópios flexíveis variam entre fibroscópios, que transmitem imagens por feixes de fibra óptica, e videoendoscópios, que enviam imagens diretamente para um monitor. Gastroskopias pediátricos flexíveis, com diâmetros de sete a 10 mm e canal de trabalho de até 110 cm, são comuns para exames estomacais em cães (SUM, 2009).

É empregado no diagnóstico de diversas partes do corpo, incluindo o sistema respiratório através de laringoscopia, traqueoscopia e broncoscopia; o sistema gastrointestinal via endoscopia digestiva alta (abrangendo esôfago, estômago e duodeno) e baixa (incluindo ceco, cólon e reto); a cavidade torácica por meio de toracoscopia; o abdômen através de laparoscopia; o trato urinário via cistoscopia; e as articulações através de artroscopia (AZEVEDO, 2006).

O fibroscópio flexível, exemplificado na Figura 6, inclui uma peça de mão com controles como botões e válvulas para manipulação do tubo no TGI, e válvulas de sucção e de ar/água que ajudam na aspiração e insuflação do local examinado. Essas funcionalidades permitem a limpeza da lente e melhor visualização do interior do TGI, aproveitando as variações de pressão (SUM, 2009). Equipamentos como aspiradores, insufladores, irrigadores, bombas de sucção e câmeras de vídeo, juntamente com ferramentas para biópsia, melhoram significativamente a funcionalidade e a precisão diagnóstica dos endoscópios (MOURYA, 2018).

Figura 6 - Equipamento de Fibroscopia. 1. Conector do endoscópio; 2. Tubo com guia de luz; 3. Corpo do controlador; 4. Extremo distal; 5. Seção flexível; 6. Tubo de inserção.



Fonte: Olympus, 2024.

1.3.1.2 Procedimento da endoscopia gastrointestinal alta

Ao iniciar o exame endoscópico, deve-se garantir que o estômago do paciente não possua conteúdo. Um período de jejum de 12 a 18 horas para alimentos sólidos e 3 a 4h para a água reduz o risco de aspiração durante a anestesia.

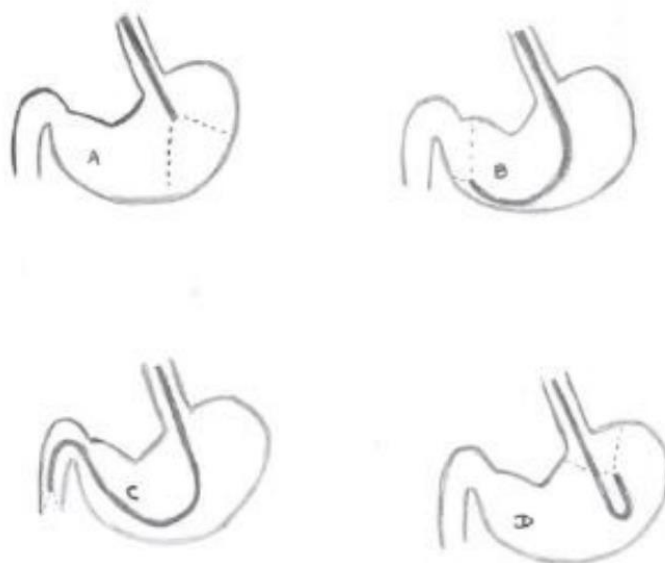
No procedimento, é essencial monitorar continuamente os sinais vitais do paciente. A frequência cardíaca, a respiratória, a pressão sanguínea e a temperatura devem ser avaliadas regularmente para detectar qualquer sinal de comprometimento. A monitorização pode incluir o uso de monitores multiparamétricos anestésicos, que permitem a avaliação simultânea de vários sinais vitais, como pressão arterial, capnografia e eletrocardiograma. A insuflação de ar durante a endoscopia pode afetar a ventilação do paciente, sendo importante monitorar a saturação de oxigênio e a pressão parcial de CO₂ expirado para detectar precocemente qualquer alteração na função respiratória (Asakawa, 2016).

O exame endoscópico inicia-se posicionando o animal em decúbito lateral esquerdo, o que facilita o acesso ao estômago e ao duodeno, minimizando a pressão dos órgãos adjacentes. O endoscópio é cuidadosamente introduzido pela cavidade oral, seguindo pela orofaringe, evitando o tubo endotraqueal e a laringe. Uma vez no esôfago, realiza-se a insuflação para visibilizar e permitir a progressão até a junção esofagogástrica, cruzando o diafragma para acessar o estômago. Dentro do estômago, uma nova insuflação expande o órgão, permitindo a visualização desde a curvatura maior até o piloro e o duodeno proximal, conforme ilustrado na Figura 7B. Manobras específicas, como a retroflexão no antro pilórico, são realizadas para

examinar a cárdia, a curvatura menor e o fundo gástrico, visualizando a posição endoscópica conforme a Figura 7D (SILVA, 2015).

Após avaliação completa, o estômago é desinsuflado e o endoscópio é retirado cautelosamente, assegurando a aspiração de todo o ar para evitar desconforto ao animal. Durante o exame, é importante não exercer pressão excessiva, especialmente se o lúmen não estiver visível, para evitar perfurações. A avaliação inclui a observação de características como coloração, motilidade e integridade da mucosa, com atenção especial às transições esofagogástricas e ao antro pilórico, áreas detalhadas na Figura 7A e 7B. Biópsias e coleta de material para análises citológicas são realizadas conforme necessário para caracterizar patologias observadas, utilizando as direções mostradas nas Figuras 07C e 07D para a retirada do aparelho e avaliação final (SILVA, 2015).

Figura 7 - Posicionamento endoscópico. **A** – Visibilização de corpo gástrico; **B** – Visibilização de antro pilórico; **C**- Visibilização de duodeno; **D**- Retrovisão para avaliação de fundo gástrico e cárdia.



Fonte: Silva, 2015.

1.3.1.3 Indicações e aplicações

Atualmente, a endoscopia digestiva já é considerada como o melhor e mais utilizado método de avaliação do trato gastrointestinal na Medicina Veterinária (TAMS,2011). A endoscopia, antes utilizada apenas para inspeção visual da mucosa na medicina veterinária, evoluiu para uma ferramenta multifuncional. Esta técnica agora facilita uma ampla variedade de procedimentos, incluindo biópsias, administração de medicamentos, posicionamento de sondas alimentares,

procedimentos cirúrgicos, e mais, tornando-se essencial para o diagnóstico e tratamento de doenças infiltrativas, erosões e alterações anatômicas significativas em animais (AZEVEDO, 2006; WASHABAU et al., 2010).

Incidentes como obstruções esofágicas são frequentemente gerenciados endoscopicamente, aproveitando-se a flexibilidade dos endoscópios para diagnóstico e a robustez dos modelos rígidos para tratamento (TEIXEIRA et al., 2010). Por outro lado, a colonoscopia é destacada como um método diagnóstico e terapêutico preciso para condições do cólon e reto, ideal para monitoramento e prevenção de doenças neoplásicas (KLUG et al., 2008). Além disso, estudos como os de MOUTINHO et al. (2007), BEHLE (2008) e GUÍMARO (2010) têm investigado a relação entre patologias gastrointestinais e alterações mucosas em cães, utilizando a endoscopia para correlacionar achados visuais e histológicos, aumentando o entendimento de condições inflamatórias e a eficácia de medicamentos como o *Meloxicam*®.

Terapeuticamente, o diagnóstico endoscópico é aplicado no manejo de ingestão de substâncias corrosivas, doenças ulcerativas pépticas, ressecção de tumores e hemorragias agudas do trato digestivo, com endoscopias sequenciais utilizadas para monitorar e tratar úlceras ou estenoses, e para dilatações esofágicas ou pilóricas quando indicado (SUM, 2009; TAMS, 2011). Este procedimento destaca-se pela mínima invasividade, requerendo anestesia e preparo específico, com baixas taxas de morbidade e mortalidade (MOORE, 2013). A remoção endoscópica de corpos estranhos exemplifica seu valor terapêutico, com a complexidade da extração variando conforme a forma do objeto (RIBEIRO, 2000). A endoscopia também é eficaz no diagnóstico de patologias mucosas do esôfago, estômago e duodeno, permitindo a coleta de amostras para análises citológicas, histopatológicas, microbiológicas e parasitológicas.

1.3.1.4 Limitações, complicações e contraindicações

A endoscopia, embora seja uma ferramenta essencial para examinar a morfologia do trato gastrointestinal e realizar procedimentos como biópsias e culturas, possui limitações como a inabilidade de avaliar funções orgânicas ou diâmetros luminais, sendo restrita à visualização de alterações intraluminais e da mucosa. Amostras de biópsia usualmente alcançam até três milímetros de profundidade e não

abrangem camadas submucosa, muscular ou serosa, aumentando o risco de perfuração ao tentar obter amostras mais profundas (Guilford, 2005).

Particularmente, em cães de grande porte, o endoscópio pode chegar até o duodeno descendente, mas para animais de pequeno porte e gatos, frequentemente não avança além do duodeno proximal. Isto deixa extensas partes do jejuno e outras áreas mais distais do intestino inexploradas. Essa limitação decorre da construção física dos endoscópios e da complexidade anatômica dos tratos intestinais, que restringem o alcance e a mobilidade desses instrumentos dentro dos canais gastrointestinais estreitos e frequentemente curvados (SILVA, 2015).

Apesar de raras, complicações como perfurações gastrointestinais podem ocorrer, geralmente associadas à extração de corpos estranhos ou à biópsia em pacientes com condições severas como úlceras gástricas (TAMS, 2011). Além disso, a endoscopia é contraindicada na presença de gás extraluminal ou suspeita de perfuração intestinal devido ao aumento do risco de contaminação da cavidade abdominal (Guilford, 2005). Quando os achados endoscópicos são inconclusivos ou não correspondem aos sinais clínicos, especialmente na suspeita de neoplasia ou peritonite, uma investigação adicional por laparotomia exploratória é recomendada.

1.4 Fundamentação de cápsulas endoscópicas

1.4.1 Contextualização e evolução da cápsula endoscópica no mercado

Desde que a cápsula endoscópica foi introduzida no início dos anos 2000, tem desempenhado um papel importante no diagnóstico do sistema gastrointestinal, possibilitando, pela primeira vez, um diagnóstico menos invasivo (SONCINI, M et al, 2018). Foi apresentado na *Digestive Disease Week 2000*, pela *Swain and Given Imaging* (Yokneam, Israel), a primeira empresa que comercializou esse dispositivo. A pílula recebeu a aprovação da *Food and Drug Administration (FDA)* e foi concebida para a inspeção da mucosa do intestino delgado, especialmente para o gerenciamento de sangramento gastrointestinal, doença de *Crohn*, doença celíaca e tumores do intestino delgado (Kharazmi, A.A et al. 2020). Comparada à endoscopia convencional, a endoscopia por cápsula é um método de exame menos invasivo, que não requer sedação durante o exame e reduz o desconforto do paciente. Além disso, permite fácil

acesso a estruturas como o intestino delgado, que antes eram de difícil acesso (Kim, S.H et al 2021).

A cápsula endoscópica, *Pillcam SB®*, foi a primeira geração e mede 11 x 26 mm, tira duas fotos por segundo e têm um ângulo de visão de 140° (Hosoe, N. et al, 2019). As segunda e terceira gerações possuem o mesmo tamanho, porém um ângulo de visão estendido de 156°, controle automático de luz, câmeras de maior resolução e bateria com autonomia de 12 horas (Omori, T., et al 2018). Porém o mercado de endoscopia por cápsula cresceu ao longo do tempo destacando outras empresas.

Segundo (GRAND VIEW RESEARCH, 2022), o mercado global de endoscopia por cápsula atingiu 482,8 milhões de dólares em 2022, com previsão de crescimento anual de 9,6% até 2030. Já a *Global Market Insight* prevê um crescimento de 9,1% até 2032 (GRAND VIEW RESEARCH, 2022; FAIZULLABHOY, 2023). O crescimento do mercado é impulsionado pelo aumento dos casos de câncer, pelo envelhecimento da população, pela necessidade de diagnósticos menos invasivos e pelos avanços tecnológicos. A avaliação abrange áreas geográficas, categorias de problemas digestivos, itens e consumidores finais, com especial atenção para instituições de saúde e clínicas médicas como principais destinatários mencionados em vários documentos. As principais empresas deste setor são *Shangxian Minimal Invasive Inc.*, *IntroMedic Co.* e *MEDTRONIC PLC*, juntamente com outras mencionadas na referência. (GRAND VIEW RESEARCH, 2022; FAIZULLABHOY, 2023)

Do outro lado, o mercado mundial de endoscopia veterinária atingiu mais de US\$ 220,1 milhões em 2023 e é esperado chegar a US\$ 342,9 milhões até 2032, com um crescimento anual de 4,9% (GRUPO, 2024). Diversos tipos de sistemas de endoscopia são analisados, como endoscópios flexíveis, rígidos e assistidos por robô, porém a endoscopia por cápsula é apontada como a mais popular (IMARC, 2024). Apenas dois *players* são reconhecidos no mercado sendo eles *ALICAM®* e *BioCam*; da *Infinity Medical, LLC* e *BioCam*, respectivamente (BIOCAM, 2023; INFINITY MEDICAL, 2022).

As tabelas 2 e 3 apresentam as principais cápsulas comercializadas para uso humano e cápsulas endoscópicas para uso veterinário, respectivamente.

Tabela 2 - As principais cápsulas comercializadas para uso humano.

Modelo	Fabricante	Sensores	Freq. (MHz)	Taxa de dados	Fonte de Alimentação	Dimensões	Resolução das Imagens da Câmera	Frequência da Câmera	Tempo de operação	Custo
PillCam (SB)	Give Imaging	Micron CMOS	402-405 e 433 (Zarlink)	800kbps(4FSK)	Bateria	11mm x 26mm <4g	14 imagens por segundo ou 2600 imagens coloridas		8 horas	\$580
EndoCapsule	Olympus Optical	Câmera CCD, 1920 x 1080	NM	NM	Bateria	11mm x 26mm <3,8g	2 imagens por segundo		8 horas	\$450
Sayaka	RF System Lab	Sensor de imagem CCD	NM	NM	Wireless	9mm x 23mm	30 imagens por segundo		8 horas (870.000 imagens)	NM
Mirocam	Intramedic	Câmera (320 x 320 pixels)	Corpo como canal transmitido	NM	Bateria	11mm x 24mm 3,4g	3 imagens por segundo		11+horas	\$500
OMOM	ChongQing JinShan Science & Technology	NM	NM	NM	Bateria recarregável	13mm x 27,9mm <6g	2-15 frames por segundo		8 horas	\$250
SmartPill	Smartpill Corp.	Acidez pH, pressão e temperatura	NM	NM	Bateria	13mm x 26mm	Apenas sensor de dado discrto		NM	NM
Given Imaging PillCam Colon2	Medtronic	Micron CMOS	433MHz (Zarlink)	800kbps (4FSK)	Bateria	11mm x 26mm <4g	35 imagens por segundo ou 6500 imagens coloridas		10 horas	Em torno de \$500
CapsoCam Plus	CapsoVision	Câmera CCD	NM	NM	Bateria recarregável	11mm x 24mm <3,5g	2 imagens por segundo		8 horas	NM
Navicam [®]	Anx Robotica	Câmera de alta resolução.	NM	NM	Bateria	12 mm x 28 mm	0.5-6 frames por segundo chegando até 12 frames por segundo.		12-16 horas	£400

*NM: Não mencionado

*Elaborado a partir das fontes: (MOHAMMAD WAJIH ALAM; SEYED SHAHIM VEDAEI; WAHID, 2020); (GIVEN IMAGING, 2016); (GIVEN IMAGING, 2013); (VILZ et al., 2016); (OLYMPUS, 2019); (SCHNEIDER; HUBERTUS FEUSSNER, 2017); (KOPROWSKI, 2015); (ENNS et al., 2021); (CAPSOVISION, 2020); (NAM et al., 2020); (MICROCAM, 2008); (JINSHAN | LIFE INSIGHTS, 2018); (RF SYSTEM LAB, 2018); (NAVICAM , 2021); (Kim, S.H et al 2021).

Tabela 3 - Cápsulas endoscópicas existentes no mercado para uso veterinário.

Modelo	Fabricante	Sensores	Freq. (MHz)	Taxa de dados	Fonte de Alimentação	Dimensões	Resolução Frequência das Imagens da Câmera	Tempo de operação	Custo
ALICAM®	Infiniti Medical	4 microcâmeras instaladas em ângulos de 90°	NM	NM	Bateria	11 mm x 33 mm 4g	20 imagens/s 221,184 pixels	NM	£825.00
BioCam	BioCam Caspule Endoscopy	1 Câmera	NM	NM	Bateria	11mm x 23mm	NM	NM	2600 PLN

Fonte: Autoria própria*

*Elaborado a partir dos sites (STEINMANN et al., 2020), (ALICAM, 2018) e (OLA, 2024)

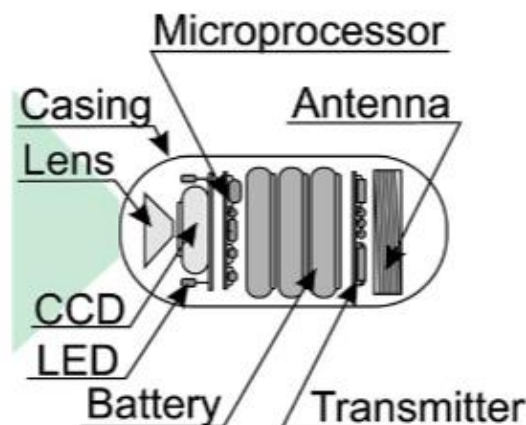
De acordo com a tabela 02, a maior parte das cápsulas endoscópicas para seres humanos emprega câmeras Micron CMOS ou CCD, com a exceção do *SmartPill*®, que monitora acidez, pH, pressão e temperatura. As cápsulas, que são alimentadas por baterias, operam em torno de 433MHz para a transmissão sem fio, o que possibilita um monitoramento imediato. Os tamanhos são pequenos, normalmente 11mm x 26mm, com o *Navicam*® um pouco maior, 12mm x 28mm. Quanto ao valor, a *OMOM*® é a opção mais acessível, ao passo que *PillCam*® e *Mirocam*® são mais dispendiosas devido às discrepâncias tecnológicas e de qualidade de imagem (MOHAMMAD WAJIH ALAM; SEYED SHAHIM VEDAEI; WAHID, 2020; NICE, 2017; MEHEDI et al., 2023). As cápsulas veterinárias da Tabela 03 possuem características semelhantes às outras cápsulas, porém são mais caras devido à produção em menor escala, evidenciando o impacto do volume de produção no custo.

1.4.2 Estrutura da cápsula endoscópica

Uma cápsula endoscópica (Figura 8) típica consiste em: um CCD ou uma câmera CMOS colocada em um ou ambos os lados fornecendo imagens com resolução típica de 320 × 240 pixels, lente que permite aquisições de campo amplo da área visível do sistema gastrointestinal, de 4 a 8 LEDs iluminando a área de imagem em luz visível, bateria composta por duas células de 1,5 V, transmissor com

antena que permite comunicação sem fio com receptor colocado no paciente (Figura 8). Usualmente, o tempo de operação é de algumas horas e excede significativamente as necessidades – ou seja, o tempo médio de permanência da cápsula no corpo. (Koprowski, R., 2015)

Figura 8 - Diagrama de blocos de uma cápsula endoscópica típica. A cápsula contém: lente com CCD, conjunto de LEDs que iluminam a área de teste, controle microprocessado, transmissor com antena e fonte de alimentação em forma de baterias.



Fonte: (Koprowski, R., 2015)

Na prática, nomeadamente em aplicações clínicas, existem dois aspectos importantes nestas soluções típicas: (1) duração da bateria; (2) distância máxima de transmissão de dados. No primeiro caso, as situações em que as cápsulas ficam presas no intestino e a possibilidade de observar os motivos dessas situações são clinicamente vitais. Neste último caso, é importante a comodidade do paciente que tem que usar o aparelho para receber os dados enviados pela cápsula. Uma distância máxima típica do receptor da cápsula está a alguns centímetros (para transmissão de dados típica na banda de 434 MHz com taxa de dados de 267 kb/s). Os dados são transmitidos unidirecionalmente da cápsula para o receptor. Após a aquisição, o meio de armazenamento (normalmente um cartão de memória) é transferido manualmente para um computador onde os dados (imagens) são analisados através de software dedicado (Koprowski, R., 2015).

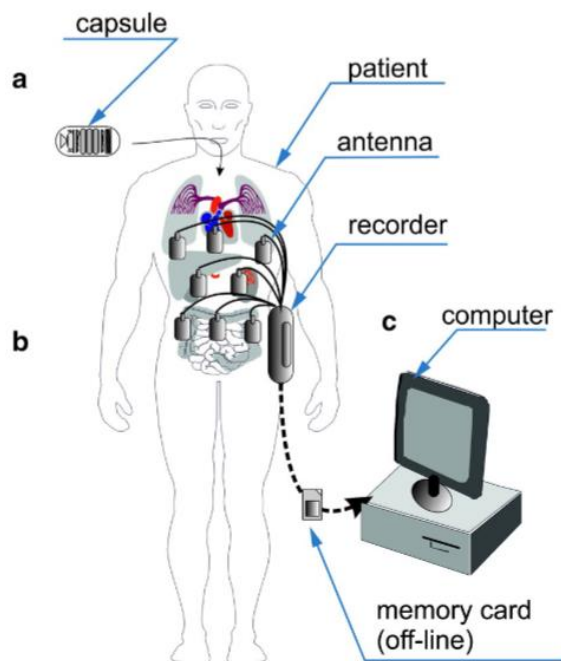
O software típico (por exemplo, *CapsoView™* CVV é a versão 1.0 do *CapsoVision*) permite visualizar a sequência de imagens armazenadas na forma de vídeo, marcar a área patológica selecionada e criar relatórios. Clinicamente, as soluções conhecidas descritas de um sistema de cápsula endoscópica apresentam desvantagens, como garantir a permeabilidade do trato gastrointestinal; limitações de

comunicação sem fio; a capacidade de controlar a posição da cápsula; uma mudança na área de imagem e uma redução no comprimento do vídeo endoscópico da cápsula assistido por um médico (Koprowski, R., 2015).

1.4.3 Funcionalidade da cápsula endoscópica

Os sistemas de cápsula endoscópica (Figura 9) mais populares consistem em três elementos: (a) uma cápsula ingerida pelo paciente; (b) um sistema para aquisição de dados enviados sem fio e (c) um computador com software para análise dos dados registrados. As cápsulas são divididas em termos de aplicação e podem ser usadas diagnosticar: (1) o intestino delgado; (2) intestino grosso e (3) o esôfago. Dependendo da aplicação, eles possuem diferentes tempos de operação, frequência de captação de imagens e número de câmeras. No diagnóstico do esôfago, duas câmeras, dispostas em lados opostos da cápsula, são utilizadas devido ao tempo de permanência relativamente curto da cápsula no esôfago, à alta frequência de obtenção de imagens do esôfago e ao curto tempo de operação. No diagnóstico do intestino delgado e grosso utiliza-se uma câmera e taxa de quadros não muito alta (devido à necessidade de economia de bateria – o tempo médio de permanência da cápsula no intestino delgado e grosso é de aproximadamente 8 horas). (Koprowski, R., 2015)

Figura 9 - Sistema básico de cápsula endoscópica. É composto por uma cápsula (a), um gravador com antenas colocadas ao lado do paciente (b) e um computador com software para análise de dados (c). Este é um conjunto típico e mais popular de endoscopia por cápsula.



Fonte: (Koprowski, R., 2015)

1.4.4 Locomoção e orientação da cápsula endoscópica

As cápsulas atuais movem-se de forma passiva através dos movimentos peristálticos. Estão em estudo locomoções ativas que permitirão a movimentação e a orientação da cápsula. Existem duas grandes estratégias para a locomoção ativa, uma interna envolvendo dispositivos robóticos miniaturizados embutidos na cápsula e outra externa utilizando campos magnéticos para promover a locomoção da cápsula. (SANTOS, 2019)

1.4.5 Localização e transmissão de imagens da cápsula endoscópica

Para determinar a posição da cápsula, conforme estudos explorados Ciuti, G. et al, 2011) é possível utilizar a potência de um sinal de rádio frequência RF emitido pela cápsula, através de sensores fixados na pele do abdômen do paciente para com eles determinar a posição por triangulação. Esta abordagem já se encontra implementada na *PillCam* ('Given Imaging', 2011) e permite apenas determinar a localização, utilizando oito sensores.

Atualmente, a transmissão de imagens nas cápsulas endoscópicas também é realizada por rádio frequência (RF). No modelo da *MiroCam*, é utilizada a propagação

de campo elétrico através do corpo humano que serve de meio condutor para a transmissão de dados (Bang et al., 2009).

1.4.6 Gestão Energética da cápsula endoscópica

Para a cápsula realizar suas operações é necessário garantir a autonomia da bateria para que os exames se realizem por completo. Para que isso seja possível, deve ser levado em consideração o aumento da capacidade das baterias da cápsula através de baterias de oxido de prata, os quais são aprovadas para o uso clínico. De forma ideal, as baterias de tecnologias com superior densidade de energia como as de íons de lítios apresentariam melhores resultados. Outro aspecto importante seria a transmissão sem fios de energia (*Wireless Power Transmission*), que podem ser a partir da indução de campo elétrico, rádio frequência, micro-ondas, sistemas de ultrassons piezoelétricos e acoplamentos indutivos (Ciuti, G. et al, 2011).

1.4.7 Biossensores

Com o avanço da tecnologia em miniaturização eletrônica, é possível utilizar biossensores para implementar a cápsula, como a realização de medição de temperatura, pressão, PH e detecção de sangue. Além de viabilizar biópsias, pequenas intervenções e administração de local de medicamentos. A cápsula *Lab-in-a-Pill* (Johannessen et al., 2004) contém um sistema de multissensor sem fios, por exemplo.

1.4.8 Sistema visual da cápsula

O sistema visual da cápsula consiste em miniaturização de câmeras CMOS, o qual apresenta melhor qualidade de imagem, dimensões reduzidas e baixo consumo de energia. Apesar de serem utilizadas também as câmeras do tipo CCD com menor qualidade de imagem. É importante possuir um sistema de lentes miniaturizados com distância focal fixa ou autofocagem e um compressor de imagem para a transmissão de imagem. Além do software para revisão, auxílio e automatização do diagnóstico a partir de um banco de imagens obtidas (SANTOS, 2019).

1.4.8 Sistema visual da cápsula

O sistema visual da cápsula consiste em miniaturização de câmeras CMOS, o qual apresenta melhor qualidade de imagem, dimensões reduzidas e baixo consumo de energia. Apesar de serem utilizadas também as câmeras do tipo CCD com menor qualidade de imagem. É importante possuir um sistema de lentes miniaturizados com distância focal fixa ou autofocagem e um compressor de imagem para a transmissão de imagem. Além do software para revisão, auxílio e automatização do diagnóstico a partir de um banco de imagens obtidas (SANTOS, 2019).

1.5 Avaliação de custos para os diagnósticos

Os dispositivos veterinários para diagnóstico, fundamentais na identificação e tratamento de problemas no trato gastrointestinal de animais, deparam-se com obstáculos devido aos seus altos custos. Utilizando tecnologias específicas para assegurar diagnósticos precisos, esses dispositivos têm preços elevados devido aos custos extras de fabricação (GASPAR et al., 2015). De forma comparativa, a procura por equipamentos de diagnóstico veterinário é menos significativa do que a procura por equipamentos médicos destinados aos seres humanos, levando a custos unitários mais elevados (OLIVEIRA, SIDNEY LINO; LIMA, GISELE APARECIDA PACHECO, 2024). Além do valor inicial, também são necessários gastos constantes com manutenção e suporte técnico, além de margens de lucro extras estabelecidas pelas empresas fabricantes. Esses gastos extras dificultam o acesso aos equipamentos, ressaltando a urgência de resolver o problema para assegurar maior presença e melhorar a qualidade de vida dos animais na área veterinária (GONDIM et al., 2021; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2012). Análise dos equipamentos e seus respectivos custos no mercado, na tabela 4.

Tabela 4 - Equipamentos e seus respectivos custos no mercado.

Equipamento	Tipo	Modelo	Modalidade	Preço
Endoscópio	Flexível	VSCOPE	Móvel	R\$ 44.900,00
	Flexível	Shield	Móvel	R\$ 75.811,92
	Flexível	Visbull	Portátil	R\$ 29.256,39
	Flexível	BMV	Portátil	R\$ 20.699,56
	Rígido	TUYOU	Portátil	R\$ 4.043,46
	Rígido	NEUVP01	Móvel	R\$ 34.442,28
Laparoscópio	Rígido	AKX	Portátil	R\$ 27.442,89
Colonoscopia	-	MeCan	Portátil	R\$ 26.000,00

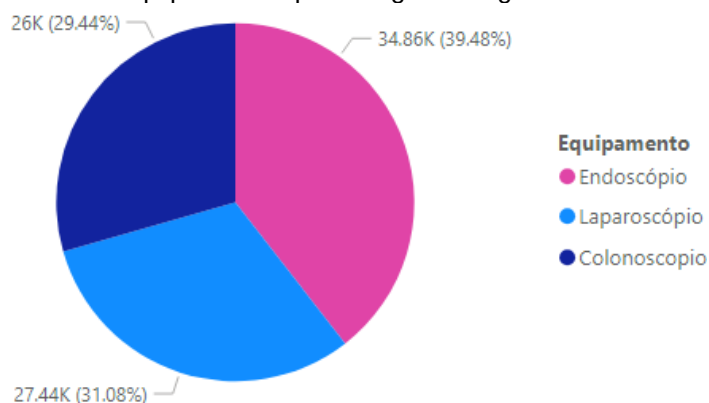
Nota: Os custos não levam em conta taxas de importação entre outras taxas.

Fonte: Autoria própria, 2024.

* Elaborado a partir dos sites: (NEUVAR, 2024); (MADE-IN-CHINA, 2024); (ALIEXPRESS, 2023); (ALIEXPRESS, 2022) (ALIEXPRESS, 2023b);

Os equipamentos usados para diagnóstico gastrointestinal têm em média um custo bastante similar. A partir do levantamento de custo realizado, na tabela 4, observa-se que apesar dos equipamentos de laparoscopia e colonoscopia custarem em média em torno dos R\$ 27.000, os equipamentos de endoscopia acabam tendo um custo mais elevado em torno dos R\$ 35.000 conforme mostrado na figura 10 abaixo, sendo 22% a mais o custo dos equipamentos de colonoscopia e laparoscopia conforme.

Figura 10 - Custo médio de equipamentos para diagnóstico gastrointestinal em animais.

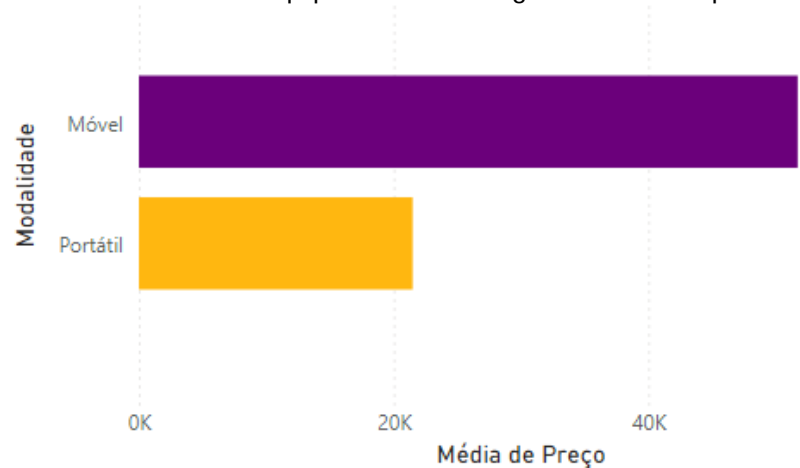


Fonte: Autoria própria, 2024.

Avaliando o custo médio dos equipamentos de endoscopia, laparoscopia e colonoscopia, observa-se que os equipamentos portáteis acabam sendo muito mais baratos do que os equipamentos moveis. Enquanto os equipamentos portáteis custam em média em torno de R\$ 21.000 assim como mostra a figura 11, os equipamentos

moveis mais robustos custam em média em torno R\$ 52.000, o que significa que os equipamentos portáteis são quase 41% do valor dos equipamentos moveis.

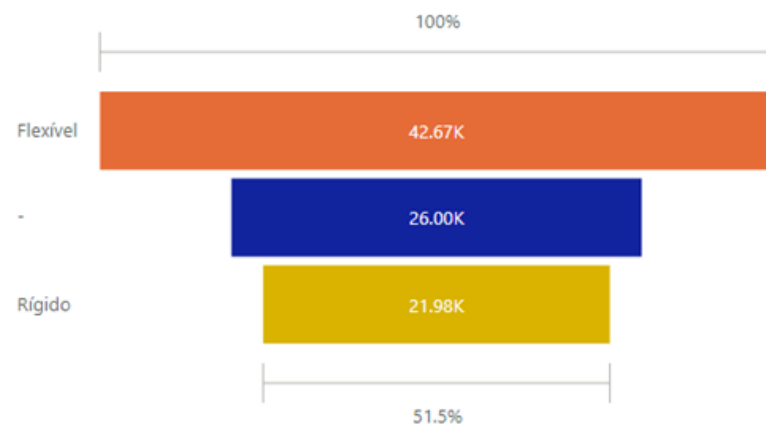
Figura 11 - Custo médio de equipamento de uso gastrointestinais por modalidade.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Destaca-se a diferença de custo dependendo se o equipamento é do tipo flexível ou rígido. Tanto os endoscópios como os laparoscópios e colonoscópios apresentam um custo elevado quando se trata do tipo flexível custando em média entorono de R\$ 43.000, enquanto os equipamentos rígidos custam em média em torno de R\$ 22.000 conforme mostrado na figura 12, que são aproximadamente 50% do valor dos equipamentos flexíveis.

Figura 12 - Custo médio de equipamentos de uso gastrointestinal por tipo.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Essa avaliação de custo demonstrando como o custo de equipamentos usados para diagnóstico de doenças gastrointestinais pode variar conforme a finalidade do

equipamento, se ele é flexível ou rígido e se ele é portátil ou não. De modo geral, um equipamento custa em média R\$ 32.000, o que é um valor significativo.

2. Objetivos

2.1 Objetivos gerais

Desenvolver e validar uma cápsula endoscópica para o diagnóstico preciso e minimamente invasivo de patologias gastrointestinais em cães, visando aprimorar as técnicas de monitoramento e tratamento na medicina veterinária.

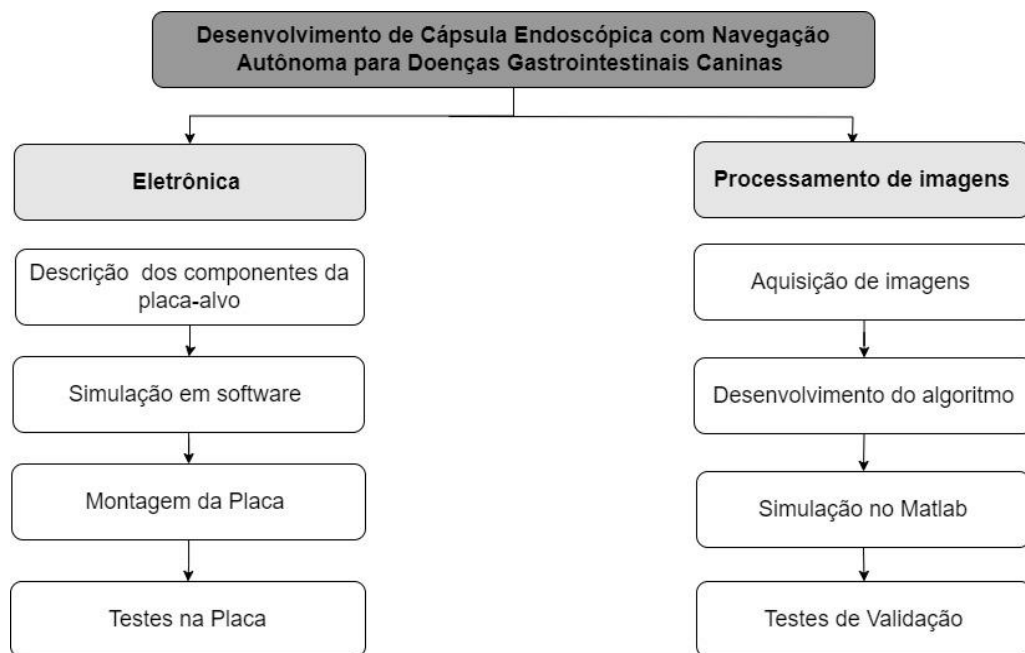
2.2 Objetivos específicos

- Projetar e construir um protótipo da cápsula que possa ser utilizado como exame de endoscopia do trato gastrointestinal canino;
- Integrar tecnologia de imagem para uma visualização detalhada do sistema digestivo dos cães;
- Desenvolver um sistema de localização interno para rastrear precisamente a posição da cápsula dentro do corpo do cão;
- Realizar testes de validação em ambiente apropriada para avaliar a eficácia diagnóstica e a segurança da cápsula.

3 Metodologia

A metodologia adotada para o presente trabalho foi baseada no diagrama apresentado na Figura 13, o qual foi elaborado nas seguintes etapas: composição do circuito eletrônico da capsula eletrônica, desenvolvimento da interface gráfica e processamento das imagens capturada seguido dos testes de validação do desempenho da cápsula para comprovação de aplicabilidade.

Figura 13 -Diagrama com as etapas do projeto



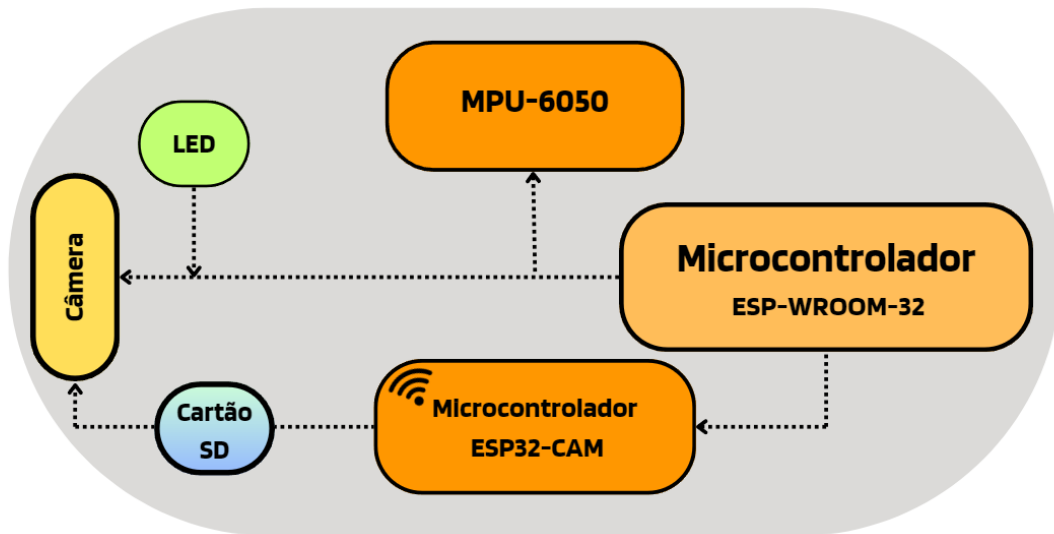
Fonte: Autoria própria, 2024.

3.1 Desenvolvimento da cápsula

3.1.1 Esboço do circuito

Para o esboço do circuito da cápsula endoscópica foi definido alguns componentes, como os descritos no esquema na figura 14:

Figura 14 - Esquema da Cápsula Endoscópica



Fonte: Autoria própria, 2024.

3.1.2 Descrição dos componentes

3.1.2.1 Sensores

Para a detecção de ângulo de inclinação e velocidade angular da cápsula endoscópica, será utilizado o giroscópio MPU-6050 (Figura 15A). Este sensor, essencial para a navegação precisa da cápsula, mede as mudanças de orientação e movimento dentro do trato gastrointestinal do cão. A precisão do MPU-6050 em capturar dados de movimento em três eixos facilita o monitoramento contínuo da posição e orientação da cápsula, garantindo uma exploração detalhada e direcionada das áreas-alvo no sistema digestivo do animal.

3.1.2.2 Armazenamento de Dados

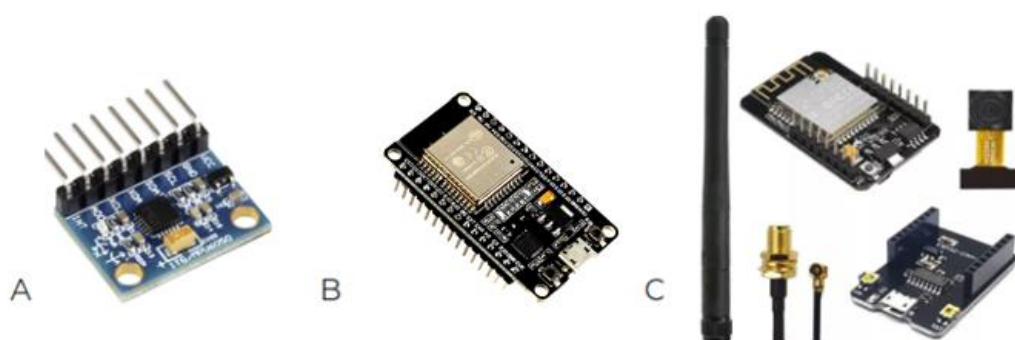
Para armazenar dados críticos, como registros de imagem e informações de localização durante o percurso da cápsula endoscópica, foi utilizado um cartão de memória com capacidade de 128 GB. Este cartão de memória permitiu uma gravação contínua de vídeos em alta definição e o armazenamento detalhado de dados de telemetria, essenciais para análises diagnósticas precisas.

3.1.2.3 Microcontrolador

O módulo ESP32-CAM (Figura 15C), da marca ESP32, com *Wi-Fi* e *Bluetooth*, com câmera OV2640 de 2 megapixels foi utilizado para capturar e transmitir imagens

em tempo real no interior do trato gastrointestinal de animais. Além disso, o microcontrolador ESP-WROOM-32 foi integrado ao sistema para gerenciar e transmitir dados de localização fornecidos pelo sensor MPU6050, ampliando as funcionalidades do dispositivo.

Figura 15 - Componentes eletrônicos. **A.** AS7262-BLGT ams OSRAM, Colour Sensor, Colour Light 670 nm I2C 20-Pin LGA. **B.** Microcontrolador ESP-WROOM-32. **C.** Microcontrolador ESP32-CAM, da marca ESP32, com Wi-Fi e Bluetooth, com câmera OV2640 – 2Mp.



Fonte: Adaptado de RS Component (2020).

3.2 Montagem do protótipo

Com a montagem do circuito eletrônico finalizado, foi realizado o acoplamento do circuito dentro de um invólucro, levando em consideração as dimensões dos componentes eletrônicos com o objetivo miniaturizar ao máximo. Com a base do protótipo pronta, foram realizados os testes das capturas de imagens, geolocalização e processamento da imagem.

3.3 Desenvolvimento da interface do software de aquisição de imagens

A interface gráfica foi desenvolvida através do *App Designer* do MATLAB® (v. 2024a), uma ferramenta que facilita a criação de interfaces gráficas de usuário (GUI). O *App Designer* permite combinar design visual e programação comportamental de forma eficiente, tornando-se um ambiente adequado para a construção de aplicativos no MATLAB. Na implementação das interfaces gráficas de usuário (GUI), utilizamos componentes como *Labels*, *Edit Fields*, *Axes*, *Push Buttons*, *Tab* e *Images*. Os *Labels* servem para rotular e identificar os dados exibidos, como a localização da cápsula e medidas de temperatura. O componente *Image* é usado para incluir o logo do projeto,

enquanto os *Edit Fields* mostram dados dinâmicos captados pelos sensores da cápsula, incluindo leituras do giroscópio. Os *Push Buttons* controlam ações como iniciar e interromper a captura de vídeo e processar e exibir as imagens capturadas pela câmera da cápsula. Essas imagens são mostradas no componente *Axes*, que também apresenta visualizações tridimensionais da trajetória da cápsula, oferecendo uma representação gráfica de seu percurso pelo trato gastrointestinal. Por fim, o uso da função *Tab* permitiu criar as diferentes abas para navegação.

3.4 Implementação da geolocalização

Para a geolocalização da cápsula, foi configurado o módulo MPU6050 conectado ao microcontrolador ESP-WROOM-32 utilizando o protocolo de comunicação I2C. As conexões I2C foram realizadas através das portas SDA (*Serial Data Adapter*) e SCL (*Serial Clock Line*) do MPU6050. A alimentação de ambos os componentes foi realizada conforme seus respectivos datasheets, utilizando uma fonte de 3,3V conectada aos pinos VCC (tensão de alimentação) e GND (terra) para garantir o fornecimento adequado de energia.

Após a montagem do circuito elétrico, houve a inicialização da comunicação I2C no Arduino, logo após os dados captados pelo MPU6050 foram exibidos em tempo real no MATLAB®. No ambiente MATLAB®, foram adicionados pacotes de suporte para o microcontrolador ESP-WROOM-32 e o MPU6050. Inicialmente a comunicação entre o Arduino e MATLAB®, permite que o Arduino leia os dados do sensor MPU6050 e os envia pela serial para o MATLAB®. Assim há a captura dos dados de temperatura, rotações da cápsula através do giroscópio nos eixos X, Y, Z e a aceleração da cápsula nos mesmos eixos.

Esses dados foram processados no MATLAB® para serem visualizados em tempo real, permitindo manipular um objeto 3D que representa a cápsula. Essa visualização reflete as mudanças de rotação e aceleração detectadas pelos sensores integrados ao MPU6050, fornecendo uma representação visual precisa da orientação e posição da cápsula ao longo de seu percurso pelo sistema gastrointestinal.

3.5 Captação e transmissão da imagem

O ESP32-CAM foi o componente principal neste projeto, responsável pelo processamento de dados, análise e controle dos componentes de *hardware*, incluindo

dispositivos extras. A partir de um cabo USB para a alimentação, a programação do dispositivo foi desenvolvida no IDE do Arduino utilizando os recursos das bibliotecas. A câmera funcionará de forma independente, exigindo código dentro do seu firmware para definir uma conexão com o Matlab. O ESP32-CAM foi escolhido devido à sua performance bruta em operações de alta frequência. Para habilitar o *streaming* de vídeo, é necessário configurar um IP estático e modificar o código do exemplo *CameraWebServer* no Arduino IDE. Após compilar e carregar o código, o dispositivo é colocado em modo Flash para transferir. O *Wi-Fi* foi escolhido devido à necessidade de velocidade na transmissão de imagens em tempo real. O ESP32-CAM se destaca pela câmera embutida, suporte a cartão SD e necessidade de uma placa para programação via USB.

3.6 Processamento de imagem

As imagens captadas pela cápsula endoscópica foram processadas utilizando o software MATLAB® (v. R2024a), empregando uma gama de técnicas avançadas de processamento de imagem para otimizar a qualidade visual do trato gastrointestinal. Utilizando a *Image Processing Toolbox* do MATLAB®, foi aplicado técnicas de filtragem como a Equalização Adaptativa de Histograma Local (CLAHE) para melhorar o contraste das imagens, e filtros de suavização como a média móvel e mediana para reduzir ruídos e artefatos. A segmentação de imagens foi facilitada pelo uso de algoritmos de limiarização automática e binarização, que isolam e destacam estruturas de interesse.

Além disso, técnicas como a transformação morfológica foram utilizadas para refinar os contornos e melhorar a definição das estruturas capturadas. Para corrigir distorções, foram aplicadas correções geométricas baseadas em transformações de perspectiva e ajustes de mapeamento de intensidade. A caixa de ferramentas também permitiu a aplicação de filtros de realce de borda, que são cruciais para destacar as transições entre diferentes tecidos dentro do trato gastrointestinal.

3.7 Validação da cápsula endoscópica

A cápsula endoscópica foi validada usando uma garrafa de alumínio de 10 cm de diâmetro escuro, simulando o trato gastrointestinal canino. Foi adicionado

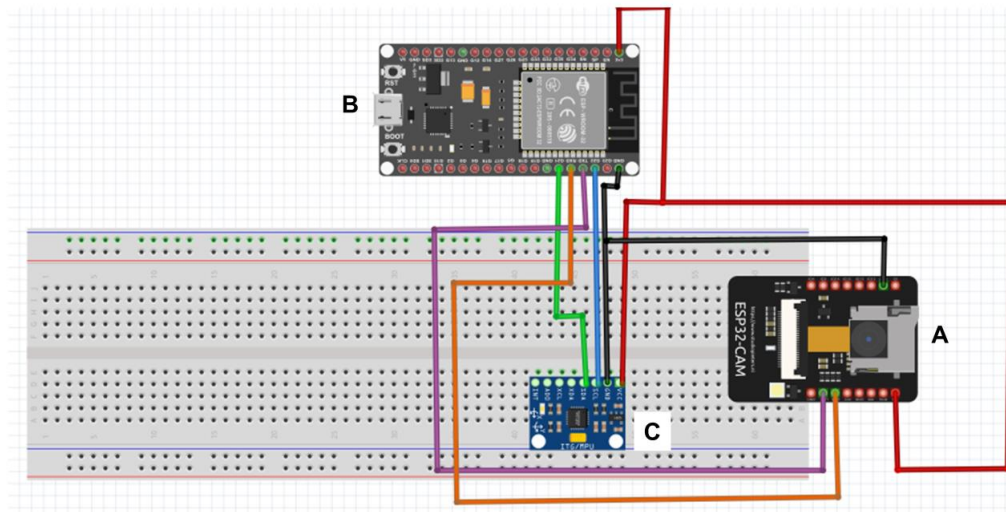
ketchup para simular obstáculos visuais podendo avaliar a qualidade das imagens da cápsula, iluminação e processamento da imagem.

4 Resultados

4.1 Desenvolvimento da cápsula

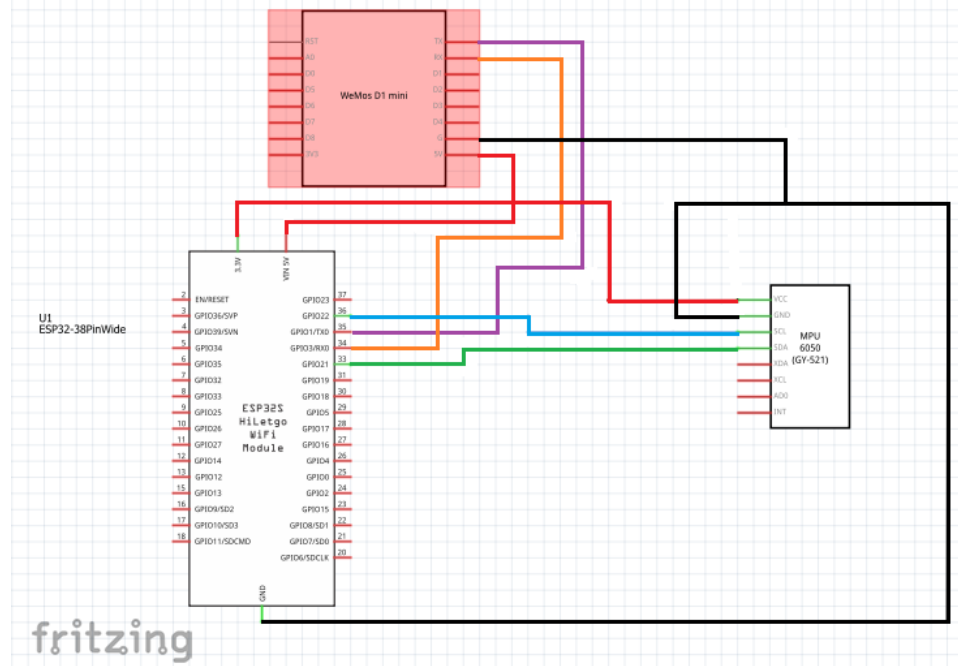
Com a construção do circuito eletrônico digital no *software Fritzing* (v. 1.0.2), a montagem inicial do circuito foi simulada para assegurar a integridade das conexões e a funcionalidade de todos os componentes (Figura 16 e 17). Este passo inicial foi importante para identificar e corrigir quaisquer problemas potenciais antes da montagem física e dos testes práticos. A simulação ajudou a visualizar e ajustar o *layout* do circuito, otimizando o espaço interno da cápsula e garantindo que todos os componentes operassem dentro das especificações.

Figura 16 - Circuito da cápsula endoscópica na plataforma *Fritzing* composto por um ESP-32-CAM (A), um ESP-WROOM-32 (B) e um MPU6050 (C).



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 17 - Circuito esquemático da cápsula endoscópica na plataforma *Fritzing*.



Fonte: Autoria própria, 2024.

4.2 Desenvolvimento da interface gráfica

Para o gerenciamento e controle da cápsula endoscópica, foi desenvolvido uma interface gráfica no MATLAB® (v. R2024a) que se comunica diretamente com o módulo ESP32-CAM e com o MPU-6050.

O desenvolvimento da interface para o projeto permitiu a criação de um sistema amigável e funcional para o monitoramento e processamento de dados de exames endoscópicos em cães. O aplicativo está dividido em três abas principais, cada uma projetada para gerenciar diferentes etapas do processo de coleta e análise de dados.

A primeira tela do sistema facilita o cadastro de informações essenciais sobre o *pet*, incluindo o nome, idade, raça, porte e o nome do tutor conforme mostra a figura 18. Além de armazenar essas informações de maneira organizada, a interface permite iniciar o exame rapidamente. A simplicidade do *layout* garante que os dados sejam facilmente preenchidos, otimizando o tempo de atendimento e oferecendo uma experiência de usuário intuitiva.

Figura 18 - Tela inicial da interface gráfica - dados do paciente

A interface gráfica apresenta uma barra de navegação superior com as abas "Dados", "Início" e "Processamento". O formulário principal, sobre um fundo lilás, contém os seguintes campos:

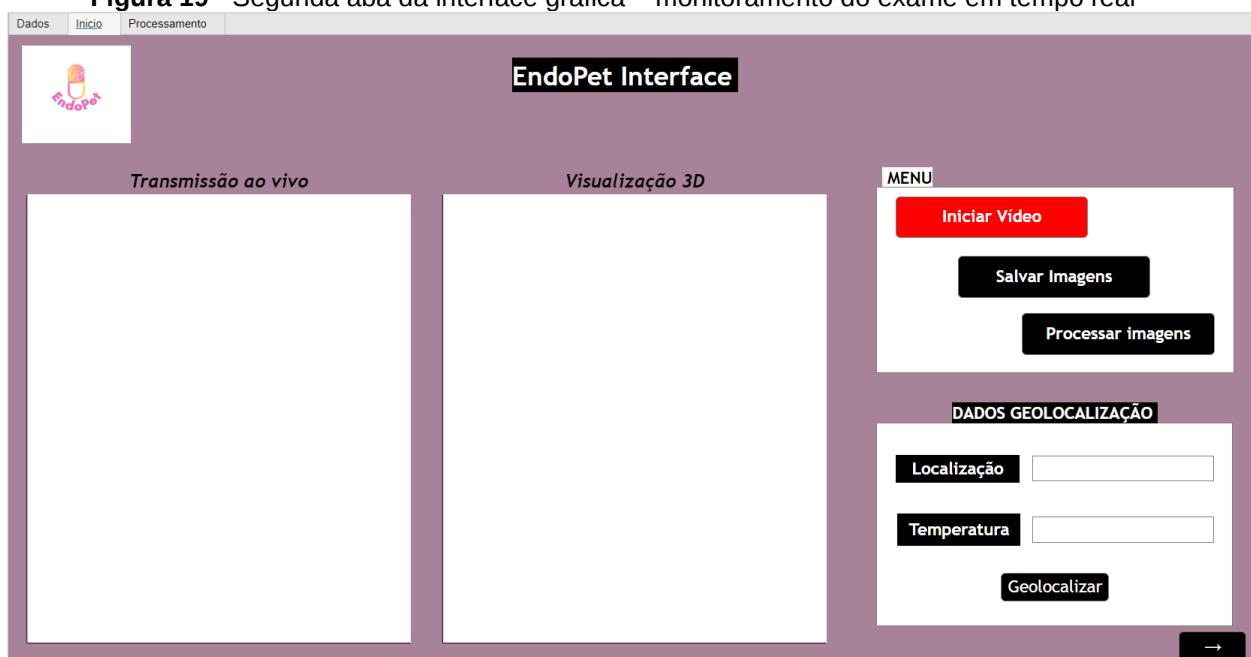
- Logo "Endopet" no canto superior esquerdo.
- Nome do pet:
- Idade:
- Raça:
- Porte: (menu suspenso com opções: Muito pequeno, Pequeno, Médio, Grande)
- Tutor:
- Botões "Salvar" e "Iniciar Exame" em uma barra inferior.

À direita do formulário, uma banner branca com o título "ENDOPET: CÁPSULAS ENDOSCÓPICAS PARA CÃES" exibe seis fotos de cães de diferentes raças.

Fonte: Autoria própria, 2024.

A segunda aba (Figura 19) é dedicada ao monitoramento do exame em tempo real e à visualização 3D. Com a opção de transmissão ao vivo e uma área para visualização 3D, a interface proporciona um acompanhamento detalhado do exame. As funções de geolocalização e temperatura, disponíveis nesta seção, são elementos-chave que permitem uma coleta de dados completa, oferecendo uma visão integrada da saúde do animal. As opções de salvar imagens e processá-las são importantes para análise futura, garantindo que todas as informações visuais estejam disponíveis para estudo posterior.

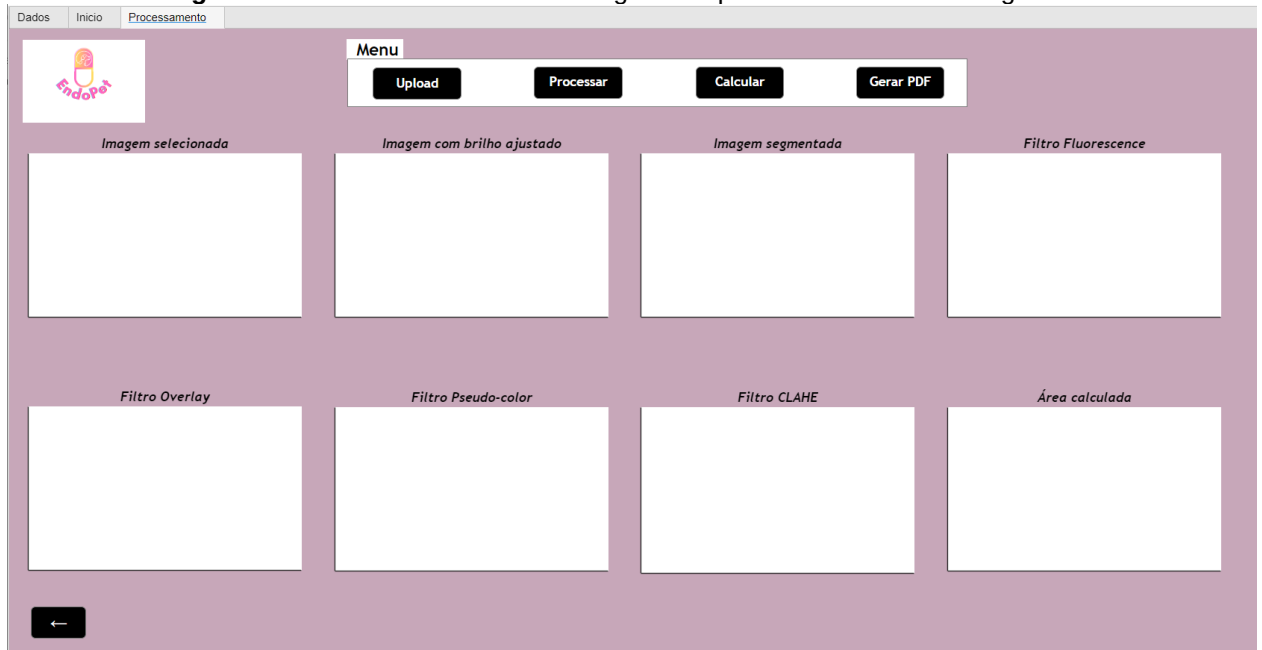
Figura 19 - Segunda aba da interface gráfica – monitoramento do exame em tempo real



Fonte: Autoria própria, 2024.

Na última aba (Figura 20), o usuário tem acesso a diversas ferramentas de processamento de imagem, onde é possível aplicar diferentes filtros (brilho ajustado, pseudo-color, CLAHE, entre outros) para realçar detalhes específicos. Essa seção também permite a segmentação de imagem e cálculo de área, oferecendo informações detalhadas para análise de tecidos. O botão para gerar PDF possibilita a criação de relatórios completos dos exames, facilitando a documentação e o compartilhamento dos resultados.

Figura 20 - Terceira aba da interface gráfica - processamento das imagens



Fonte: Autoria própria, 2024.

4.3 Implementação da geolocalização

O código Arduino é construído para capturar informações de aceleração, giroscópio e temperatura do sensor MPU6050 e enviá-las para um computador ou outro dispositivo via comunicação serial. Para isso, ele começa incluindo a biblioteca “Wire.h”, que permite a comunicação I2C, um protocolo de dois fios que simplifica a conexão com dispositivos como o MPU6050. No início do código, o endereço I2C do sensor é definido como “0x68”, pois esse é o endereço padrão do MPU6050 (Figura 21). Com esse endereço, o Arduino sabe para onde enviar as instruções e de onde receber as leituras.

Figura 21 - Biblioteca e definição do endereço I2C

```
#include <Wire.h>
const int MPU = 0x68; // Endereço I2C do MPU6050
```

Fonte: Autoria própria, 2024.

Em seguida, o Arduino inicializa a comunicação I2C com “Wire.begin()” e configura a comunicação serial com “Serial.begin(115200);” para a taxa de 115200 bps, que é suficientemente rápida para enviar grandes volumes de dados sem sobrecarregar a transmissão. Para que o sensor comece a fornecer dados, o código

acessa o registrador “PWR_MGMT_1” (endereçado como “0x6B”) e escreve o valor “0”, que o desperta do modo de espera conforme mostrado na figura 22. Essa etapa garante que o sensor esteja ativo e pronto para fornecer leituras de movimento e temperatura.

Figura 22 - Inicialização da comunicação I2C.

```
void setup() {  
    Wire.begin();  
    Serial.begin(115200); // Inicia a comunicação serial  
    Wire.beginTransmission(MPU);  
    Wire.write(0x6B);      // Acessa o registrador PWR_MGMT_1  
    Wire.write(0);          // Desperta o MPU6050  
    Wire.endTransmission(true);  
}
```

Fonte: Autoria própria, 2024.

Em seguida, o Arduino solicita leituras do sensor. Para obter todos os dados de uma vez, o código escreve no registrador “0x3B”, que é o endereço onde o sensor armazena as primeiras leituras de aceleração. Em seguida, ele solicita 14 *bytes* consecutivos, pois cada leitura de aceleração e giroscópio usa 2 *bytes* (totalizando 12 *bytes* para os eixos X, Y e Z de aceleração e giroscópio) e a leitura de temperatura ocupa 2 *bytes* adicionais. O Arduino lê esses *bytes* e combina pares de *bytes* para formar valores de 16 *bits* para cada leitura de aceleração, giroscópio e temperatura conforme mostrado na figura 23.

Figura 23 - Leitura dos dados do MPU6050.

```
void loop() {  
    Wire.beginTransmission(MPU);  
    Wire.write(0x3B);      // Endereço inicial para ler aceleração  
    Wire.endTransmission(false);  
    Wire.requestFrom(MPU, 14, true); // Lê 14 bytes (aceleração, temperatura e giroscópio)  
  
    int16_t accelX = Wire.read() << 8 | Wire.read();  
    int16_t accelY = Wire.read() << 8 | Wire.read();  
    int16_t accelZ = Wire.read() << 8 | Wire.read();  
    int16_t tempRaw = Wire.read() << 8 | Wire.read();  
    int16_t gyroX = Wire.read() << 8 | Wire.read();  
    int16_t gyroY = Wire.read() << 8 | Wire.read();  
    int16_t gyroZ = Wire.read() << 8 | Wire.read();  
}
```

Fonte: Autoria própria, 2024.

A leitura bruta de temperatura é então convertida em graus Celsius com a fórmula “(tempRaw / 340.0) + 36.53” mostrado na figura 24, que ajusta o valor de

acordo com as especificações do MPU6050 para mostrar a temperatura ambiente. Em seguida, o código Arduino envia cada valor lido pela porta serial em um formato estruturado, com rótulos como "Accel X", "Accel Y", "Accel Z", etc., para facilitar a interpretação. Esse formato organizado permite que outros dispositivos, como um programa MATLAB, consigam identificar e processar cada leitura de maneira eficiente.

Figura 24 - Conversão da temperatura e envio dos dados lidos

```
float temp = (tempRaw / 340.0) + 36.53;

// Envia os dados pela serial
Serial.print("Accel X: "); Serial.print(accelX);
Serial.print(" | Accel Y: "); Serial.print(accelY);
Serial.print(" | Accel Z: "); Serial.print(accelZ);
Serial.print(" | Temp: "); Serial.print(temp);
Serial.print(" | Gyro X: "); Serial.print(gyroX);
Serial.print(" | Gyro Y: "); Serial.print(gyroY);
Serial.print(" | Gyro Z: "); Serial.println(gyroZ);

delay(1000); // Atraso de 1 segundo
```

Fonte: Autoria própria, 2024.

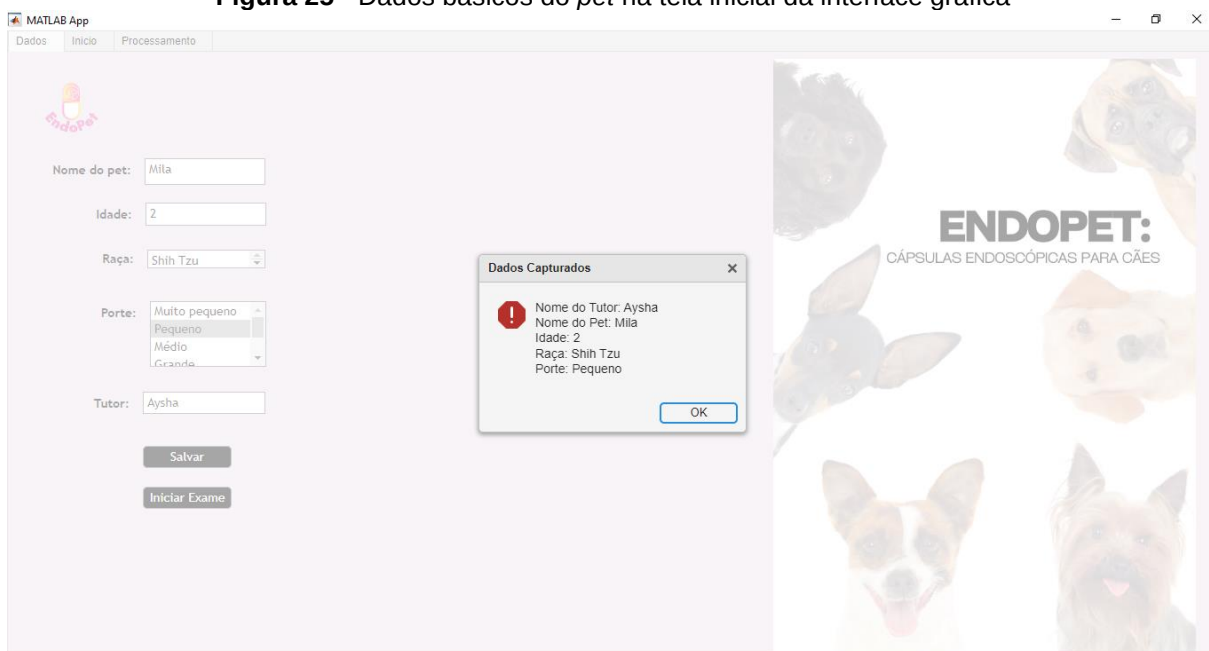
Por fim, há um atraso de 1 segundo entre cada ciclo de leitura com o comando “*delay(1000);*” (Figura 24), o que permite que o código envie novos dados em intervalos regulares e evita sobrecarregar a interface serial com leituras excessivamente rápidas. Esse ciclo contínuo de leitura e transmissão fornece uma fonte constante de dados do sensor MPU6050 para processamento externo, tornando o Arduino um coletor de dados em tempo real, essencial para a visualização e análise desses dados no MATLAB.

No MATLAB, foi feita uma projeção para processar os dados recebidos do sensor MPU6050, enviados pelo Arduino, e exibi-los em uma interface gráfica. Ele faz isso interpretando os valores de aceleração, temperatura e ângulos para atualizar a simulação 3D do movimento e a localização de uma cápsula ao longo de regiões definidas.

A obtenção do porte do cão é feita usando a função *app.getPorte()*, que faz parte da página inicial da interface onde o usuário insere dados sobre o cão (Figura 25). Esse valor de porte influencia o comprimento das diferentes regiões do "trato digestivo" simulado, ajustando a simulação de acordo com o tamanho do cão, de acordo com a Tabela 1. Em seguida, foi usado a função *app.setLengths(porte)* para

definir comprimentos específicos para cada região (por exemplo, boca, esôfago, intestino), que determinam as distâncias que a cápsula deve percorrer em cada região. Esses comprimentos definidos dentro de uma propriedade privada conforme mostrado na figura 26, são essenciais para que o MATLAB saiba quando a cápsula muda de região com base na distância total percorrida.

Figura 25 - Dados básicos do *pet* na tela inicial da interface gráfica



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 26 - Definição do tamanho do sistema gastrointestinal por porte de cachorro e definição dos portes por número dentro de uma propriedade privada no MATLAB.

```

methods (Access = private)
    function lengths = setLengths(~, porte)
        % Definir os comprimentos com base no porte
        switch porte
            case 1 % Cão muito pequeno
                lengths = [0.2, 0.5, 1.5, 2.5, 3.0]; % Boca ao esôfago, estômago, intestino delgado, intestino grosso, ânus
            case 2 % Cão pequeno
                lengths = [0.3, 0.7, 2.5, 4.0, 4.5];
            case 3 % Cão médio
                lengths = [0.4, 1.0, 4.0, 5.5, 6.0];
            case 4 % Cão grande
                lengths = [0.5, 1.2, 5.5, 7.0, 7.5];
            case 5 % Cão muito grande
                lengths = [0.6, 1.5, 7.0, 9.0, 9.5];
            otherwise
                disp('Porte inválido. Usando valores para cães muito pequenos.');
```

Porte	Boca ao esôfago	Estômago	Intestino delgado	Intestino grosso	Ânus
1 (Muito pequeno)	0.2	0.5	1.5	2.5	3.0
2 (Pequeno)	0.3	0.7	2.5	4.0	4.5
3 (Médio)	0.4	1.0	4.0	5.5	6.0
4 (Grande)	0.5	1.2	5.5	7.0	7.5
5 (Muito grande)	0.6	1.5	7.0	9.0	9.5

```

                lengths = [0.2, 0.5, 1.5, 2.5, 3.0]; % Valor padrão para cães muito pequenos
            end
        end
    end
    % Exemplo de outro método auxiliar para obter o porte do cão
    function porte = getPorte(app)
        porte_str = app.PortelListBox.Value;
        switch porte_str
            case 'Muito pequeno'
                porte = 1;
            case 'Pequeno'
                porte = 2;
            case 'Médio'
                porte = 3;
            case 'Grande'
                porte = 4;
            case 'Muito grande'
                porte = 5;
            otherwise
                disp('Porte inválido. Usando valores para cães muito pequenos.');
```

Porte	Boca ao esôfago	Estômago	Intestino delgado	Intestino grosso	Ânus
1 (Muito pequeno)	0.2	0.5	1.5	2.5	3.0
2 (Pequeno)	0.3	0.7	2.5	4.0	4.5
3 (Médio)	0.4	1.0	4.0	5.5	6.0
4 (Grande)	0.5	1.2	5.5	7.0	7.5
5 (Muito grande)	0.6	1.5	7.0	9.0	9.5

```

                porte = 1;
            end
        end
    end
end

```

Fonte: Autoria própria, 2024.

Para visualizar o movimento da cápsula, foi configurado uma visualização 3D em *app.Visu3D*, que é o eixo gráfico da interface onde o movimento da cápsula será simulado. Ele define os limites dos eixos 3D e ajusta a perspectiva de visualização, proporcionando uma visão tridimensional. A seguir, foi criado um cilindro com base no raio e altura definida, representando a cápsula, que rotacionará com base nos valores de aceleração e inclinação fornecidos pelo sensor MPU6050. A partir dos valores de aceleração, foi calculada os ângulos de inclinação *anguloX* e *anguloY* usando funções trigonométricas mostrados na figura 27 para determinar a orientação do cilindro conforme mostra nas figuras 28 e 29. Esses ângulos são usados para rotacionar o cilindro na visualização 3D, simulando a inclinação da cápsula conforme ela percorre o trato digestivo.

Figura 27 - Função para a atualizar a posição do cilindro.

```
% **Corrigir Deformação do Cilindro**
% Atualizar a rotação acumulada do cilindro com base no giroscópio
rotationX = rotationX + gxVal * timeStep / 131; % Ajustar fator de sensibilidade do giroscópio
rotationY = rotationY + gyVal * timeStep / 131;
rotationZ = rotationZ + gzVal * timeStep / 131;

% Criar matrizes de rotação 3D para cada eixo
Rz = [cosd(rotationZ) -sind(rotationZ) 0; sind(rotationZ) cosd(rotationZ) 0; 0 0 1];
Ry = [cosd(rotationY) 0 sind(rotationY); 0 1 0; -sind(rotationY) 0 cosd(rotationY)];
Rx = [1 0 0; 0 cosd(rotationX) -sind(rotationX); 0 sind(rotationX) cosd(rotationX)];

% Matriz de rotação composta (Z * Y * X)
rotationMatrix = Rz * Ry * Rx;

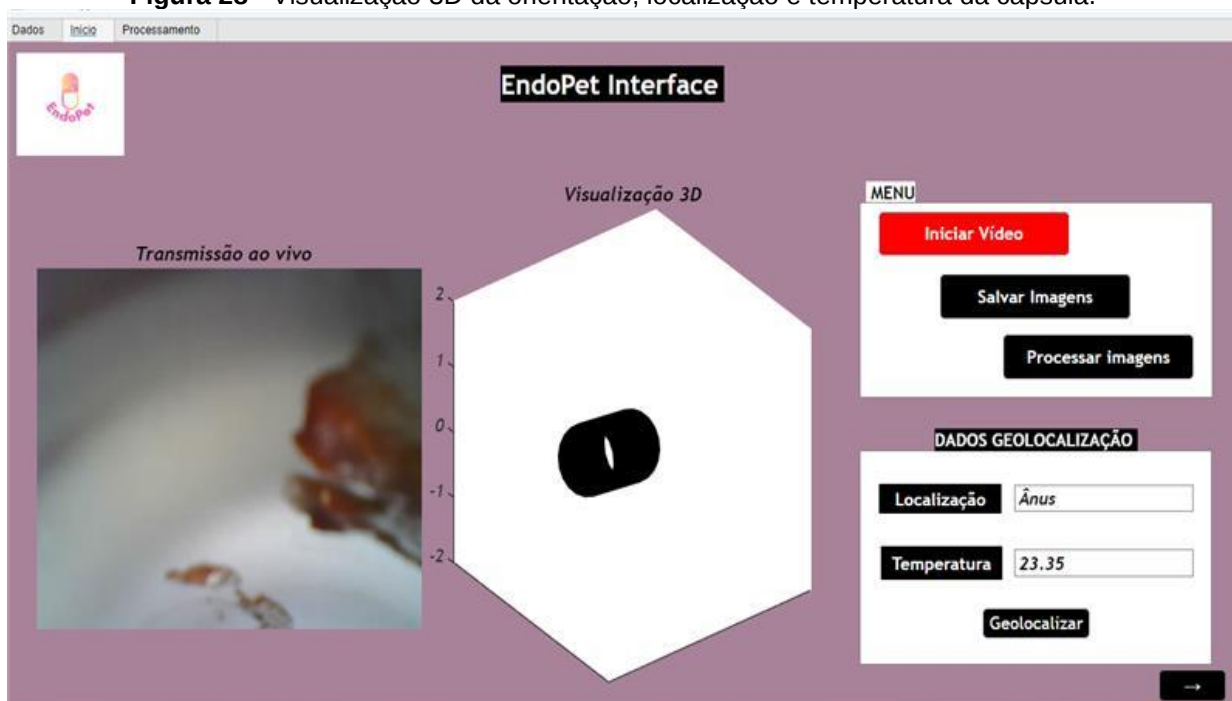
% Aplicar a rotação ao cilindro (sem deformar)
vertices = [x(:)'; y(:)'; z(:)'];
rotatedVertices = rotationMatrix * vertices;
xNew = reshape(rotatedVertices(1, :), size(x));
yNew = reshape(rotatedVertices(2, :), size(y));
zNew = reshape(rotatedVertices(3, :), size(z));

% Atualizar o cilindro com os vértices rotacionados
set(cilindro3D, 'XData', xNew, 'YData', yNew, 'ZData', zNew);

drawnow;
```

Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 28 - Visualização 3D da orientação, localização e temperatura da cápsula.

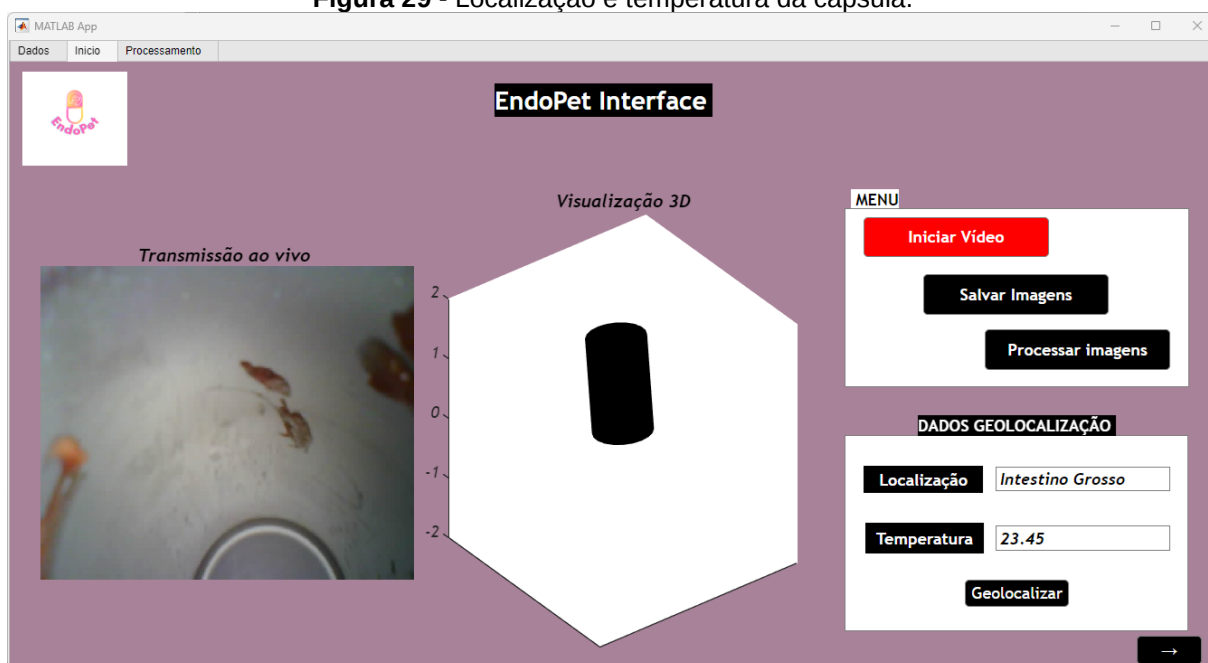


Fonte: Autoria própria, 2024.

Para obter a localização, a aceleração no eixo Z foi convertida em unidades de m/s^2 (considerando o fator de conversão para o sensor) e foi usada para calcular a velocidade e a distância percorrida pela cápsula. A distância total percorrida é

acumulada ao longo do tempo, e cada nova leitura de aceleração contribuiu para atualizar a velocidade e a posição da cápsula. Esse processo de integração permitiu que o MATLAB simule o movimento contínuo da cápsula com base nos dados de aceleração. Com base na distância total percorrida, foi verificado em qual região do trato digestivo a cápsula se encontra comparando a distância total com os comprimentos das regiões definidos anteriormente e determina se a cápsula entrou em uma nova região. Se a cápsula mudou de região, o campo “Localização” é atualizado com o nome da nova região como “Ânus” ou “Intestino Delgado” conforme mostram as figuras 28 e 29.

Figura 29 - Localização e temperatura da cápsula.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Além disso, também foi exibido na interface a temperatura atualizado com o valor convertido de temperatura do sensor, permitindo que o usuário monitore a variação de temperatura ao longo do percurso da cápsula (Figuras 28 e 29).

4.4 Montagem do protótipo

A montagem do protótipo da cápsula endoscópica foi realizada seguindo o esquema de pinagem previamente definido entre o módulo ESP32-CAM e o MPU-6050 e o ESP-WROOM-32 (Tabela 05). Na Figura 30 é visualizado como a *proto board* foi organizada para acomodar todos os componentes necessários.

Os testes iniciais focaram em verificar a comunicação efetiva entre os componentes. Os resultados desses testes mostraram que os dados de aceleração e orientação são captados com precisão pelo giroscópio e transmitidos sem perdas ao microcontrolador, onde são processados para determinar a localização exata da cápsula dentro do trato gastrointestinal simulado. A análise dos dados coletados confirmou que a cápsula é capaz de transmitir imagens em tempo real enquanto navega pelo percurso estipulado, com os dados de orientação sendo registrados e exibidos na interface gráfica.

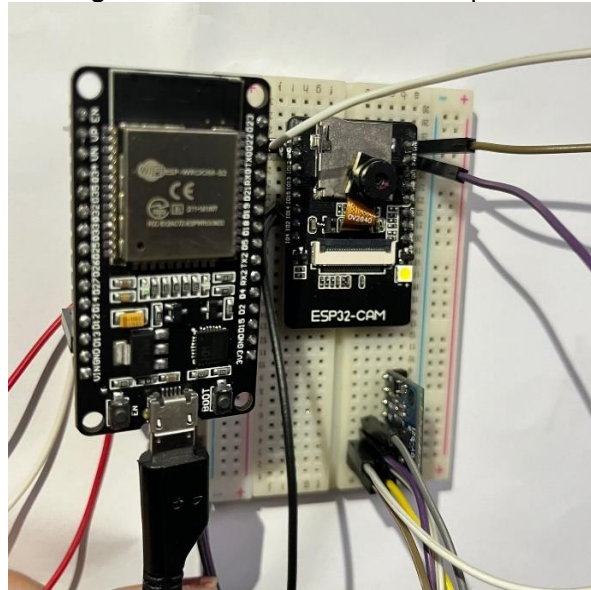
Ao final, os componentes eletrônicos foram inseridos em um recipiente de forma a ficarem únicos (Figura 31A) e que permitisse a movimentação do circuito. Foi realizado um furo na extremidade de forma que a câmera ficasse direcionada para fora (Figura 31B).

Tabela 5 - Pinagem do Módulo ESP32.

Pino	Nome	Função	MPU	ESP32CAM	ESP-32-WROOM
GPIO 14	Conexões do cartão MicroSD	Usados para interagir com o cartão microSD	Pino SCL	SCL	—
GPIO 15	Conexões do cartão MicroSD	Usados para interagir com o cartão microSD	Pino SDA	SDA	—
GPIO 1 (TX)	Pinos seriais	Comunicar com a placa e fazer o upload do código	—	Pino TX	Pino TX
GPIO 3 (RX)	Pinos seriais	Comunicar com a placa e fazer o upload do código	—	Pino RX	Pino RX
VCC	Alimentação	Conexão interna do LED	—	Alimentação 5V	Alimentação 5V
3.3 V	Alimentação	Alimentação 3.3V	—	Alimentação 3.3V	Alimentação 3.3V
GPIO 4	Lanterna (LED)	Ativar/desativar lanterna	—	LED	—
GPIO 21	Conexão MPU	Comunicação com o sensor MPU	SDA	—	SDA
GPIO 22	Conexão MPU	Comunicação com o sensor MPU	SCL	—	SCL
GND	Aterramento	Conexão ao terra (GND)	GND	GND	GND

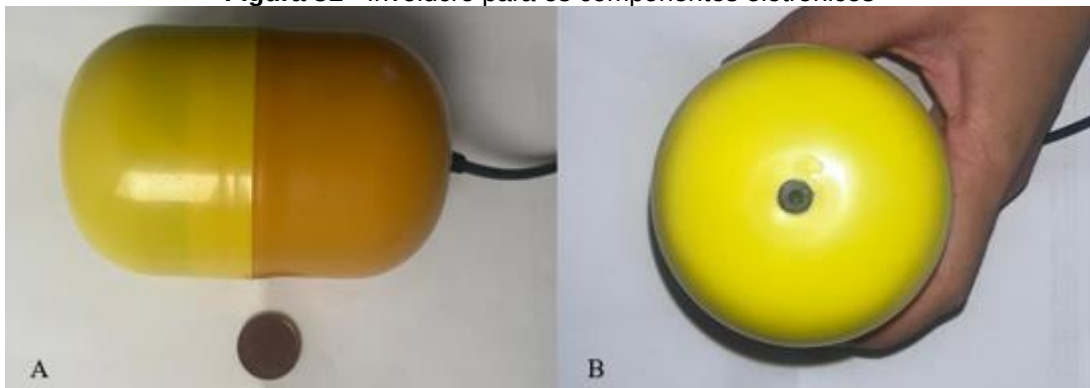
Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 30 - Circuito elétrico da Cápsula.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 31 - Invólucro para os componentes eletrônicos



Fonte: Autoria própria, 2024.

4.5 Captação, transmissão e processamento de imagem

O código configura e opera a câmera do módulo ESP32-CAM, conectando a rede *Wi-Fi* para transmitir imagens. Inicializa a câmera, ajusta parâmetros do sensor e inicia um servidor *web* para streaming de vídeo. A câmera é configurada desde os pinos de conexão até os parâmetros de captura, garantindo uma transmissão de qualidade.

O código no Arduino é dividido em blocos e inicialmente inclui as bibliotecas necessárias para o funcionamento da câmera e a conectividade com *Wi-Fi*, ‘*esp_camera.h*’ e ‘*WiFi.h*’, define também o modelo da câmera como ‘*CAMERA_MODEL_AI_THINKER*’.

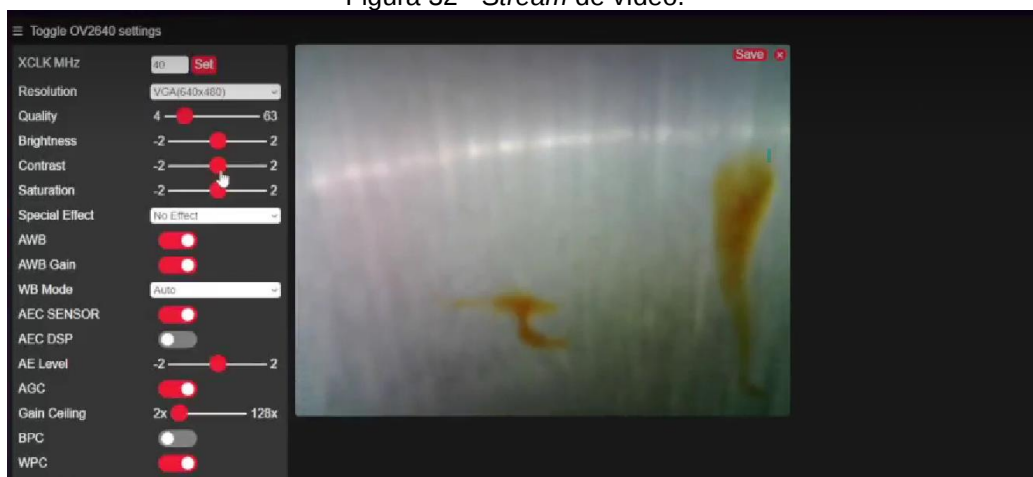
Para o bom desempenho da câmera, a configuração é definida especificando os pinos de conexão, a frequência de *clock*, tamanho do quadro, o formato de *pixel*

(JPEG para streaming), a qualidade, o modo de captura e a localização do frame buffer. Além de imprimir uma mensagem de erro e interrompendo a execução em caso de falha. Ademais, são declaradas funções que serão utilizadas para iniciar o servidor da câmera e do Flash LED. O módulo ESP32 também se conecta à rede *Wi-Fi*, o qual o código imprime pontos na saída serial para indicar o progresso, assim como na câmera, uma mensagem de sucesso é exibida.

Após as definições de bibliotecas e configurações necessárias, o código inicia um servidor *web* que permite o acesso ao *streaming* de vídeo em tempo real. O endereço IP local do dispositivo é exibido, permitindo que o acesso a transmissão via navegador.

Por fim, a função loop é mantida vazia com um atraso, pois todas as operações de captura e transmissão de imagem são gerenciadas por outra tarefa do servidor *web*. Isso permite que o servidor *web* opere de forma independente, gerenciando todas as tarefas relacionadas à captura e transmissão de imagens. Após configurar e iniciar o servidor *web*, o *stream* de vídeo pode ser acessado (Figura 32) através do endereço IP fornecido pelo código. É integrado este *stream* com uma interface MATLAB, o qual permite a captura e processamento de imagens diretamente do *stream* de vídeo, facilitando a análise e visualização dos dados em tempo real. Isso é feito utilizando o endereço IP da câmera e extraíndo os frames do vídeo.

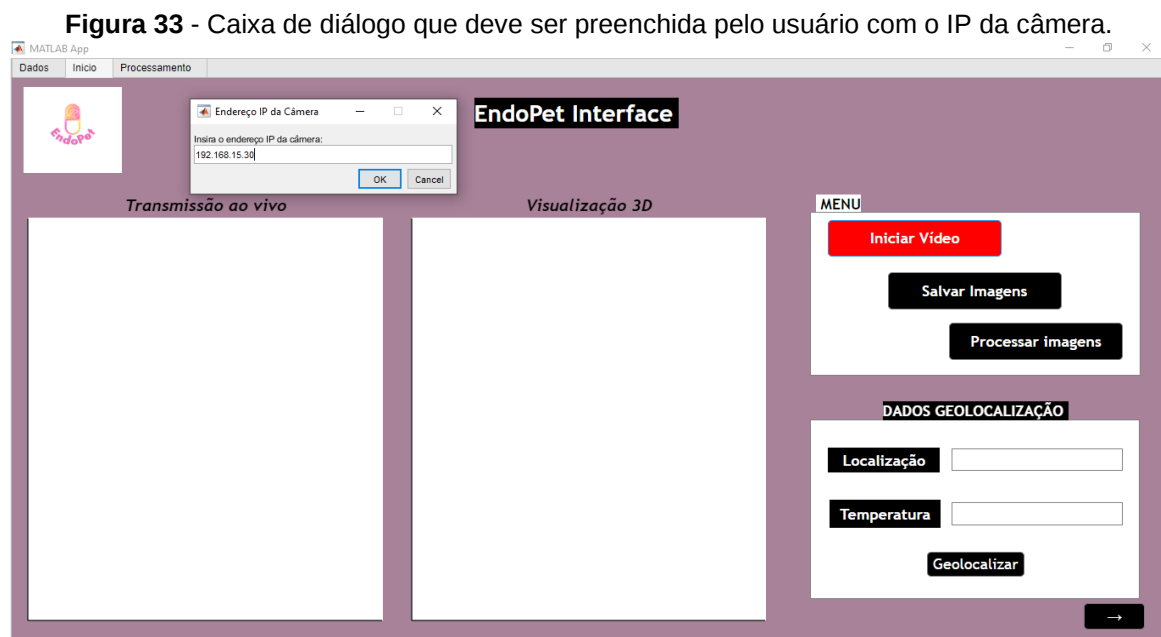
Figura 32 - *Stream* de vídeo.



Fonte: Autoria própria, 2024.

A transmissão das imagens da câmera ESP32-CAM para a interface gráfica desenvolvida inicia quando o usuário clica em “iniciar vídeo” e a ele é solicitado o

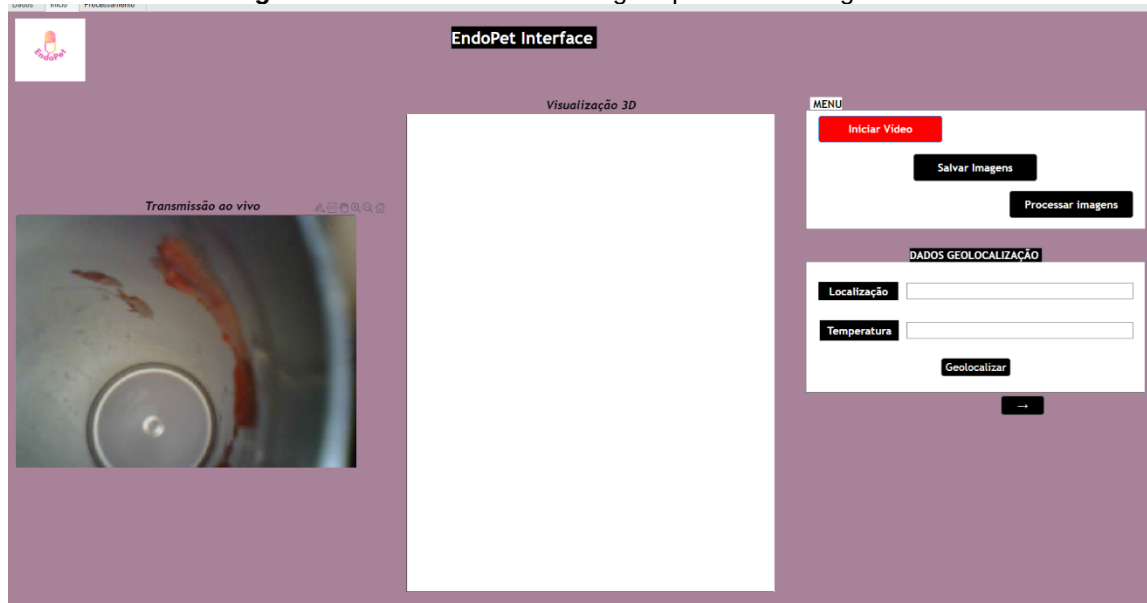
endereço IP da ESP32-CAM através de uma caixa de diálogo na interface conforme mostrado na figura 33. Esse endereço é utilizado para criar a URL de conexão com a câmera, que utiliza a porta padrão :81/*stream* para a transmissão contínua de vídeo. A comunicação entre o MATLAB e a ESP32-CAM é estabelecida por meio da função `ipcam()`, que cria um objeto representando a câmera, possibilitando a captura de quadros de vídeo.



Fonte: Autoria própria, 2024.

A partir dessa conexão, um *loop* contínuo foi implementado para capturar quadros da câmera. Para isso, foi utilizada a função `snapshot()`, que obtém cada quadro de imagem transmitido pela ESP32-CAM. As imagens capturadas são exibidas diretamente na interface do MATLAB (Figura 34), por meio do componente `imshow()`, que apresenta o quadro no campo de visualização `UIAxes` definido na interface gráfica.

Figura 34 - Transmissão da imagem pela interface gráfica.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Após a seleção, ao clicar no botão "Processar", os filtros e operações de tratamento de imagem são aplicados automaticamente. Esse procedimento assegura que a imagem esteja devidamente armazenada e disponível para as etapas subsequentes de processamento. O sistema é compatível com diversos formatos de arquivo, como JPEG e PNG, e as imagens são exibidas na interface gráfica para que o usuário possa acompanhar visualmente os resultados do processamento.

A primeira etapa do processamento envolve o ajuste de brilho e resolução da imagem (Figura 35). O brilho é ajustado para melhorar a visibilidade dos detalhes, e a resolução da imagem pode ser aumentada, o que permite uma visualização mais clara e nítida dos elementos presentes, sendo essencial em situações em que a qualidade inicial da imagem pode ser insuficiente para análises detalhadas.

Figura 35 - Código para implementação do filtro de brilho

```
% ===== Aumento de brilho =====  
% Melhorar a qualidade e resolução da imagem  
% Aplicar filtro de suavização para melhorar a resolução  
img = imresize(img, 2); % Exemplo de aumento da resolução em 2 vezes  
  
% Ajustar o brilho da imagem  
img = imadjust(img,[.2 .3 0; .6 .7 1],[,]); % Exemplo de ajuste de brilho  
  
% Exibir a imagem melhorada no Axes_3  
imshow(img, 'Parent', app.Brilho);  
  
pause(1);
```

Fonte: Autoria própria, 2024.

Em seguida, a imagem passa pelo processo de binarização, no qual é convertida para uma escala de cinza e, posteriormente, segmentada utilizando um limiar automático, figura 36. Esse processo facilita a distinção entre as regiões de interesse e o fundo da imagem, permitindo que áreas relevantes sejam destacadas com mais clareza.

Figura 36 - Código para implementação do processo de binarização

```
% ===== Binarização =====
% Converter a imagem para escala de cinza (se necessário)
if size(img, 3) == 3
    imgGray = rgb2gray(img);
else
    imgGray = img;
end

% Segmentar a imagem para destacar regiões de interesse
% Por exemplo, aplicar um limiar simples para segmentação binária
threshold = graythresh(imgGray); % Determinar o limiar automaticamente
imgBinary = imbinarize(imgGray, threshold); % Segmentação binária

% Exibir a imagem segmentada no Axes_5
imshow(imgBinary, 'Parent', app.Segmentado);

pause(1);
```

Fonte: Autoria própria, 2024.

Outro passo importante é o filtro de fluorescência (Figura 37), que aplica ajustes de contraste para realçar características específicas da imagem, principalmente em situações em que as regiões de interesse podem não ser facilmente visíveis sob iluminação normal. A imagem resultante é segmentada e processada para destacar esses elementos de fluorescência.

Figura 37 - Código para implementação do filtro de fluorescência

```
% ===== Fluorescence =====

% Aplicar um filtro para realçar fluorescência NIR
% Usar um filtro de contraste mais forte (ajustar parâmetros conforme necessário)
img_filtered = imadjust(imgGray, [0.3 0.7], [0 1]); % Ajuste de contraste

% Converter imagem filtrada para preto e branco
img_bw = imbinarize(img_filtered, 'adaptive'); % Binarização adaptativa

% Exibir a imagem segmentada no UIAxes_6
imshow(img_bw, 'Parent', app.Fluorescence);

pause(1);
```

Fonte: Autoria própria, 2024.

O sistema também emprega a técnica de overlay (Figura 38), na qual uma máscara é criada e sobreposta à imagem original. Neste caso, um overlay vermelho é gerado sobre as regiões binarizadas, facilitando a visualização de áreas específicas que precisam de atenção ou que foram destacadas pelo processamento anterior.

Figura 38 - Código para implementação do filtro de overlay

```
% ===== Overlay =====
gray_img_rgb = cat(3, imgGray, imgGray, imgGray);

% Criar máscara para overlay (pode ajustar o limiar conforme necessário)
mask = imbinarize(imgGray, 0.6);

% Criar overlay vermelho
red_overlay = zeros(size(img), 'like', img);
red_overlay(:, :, 1) = cast(mask, 'like', img) * 255;

% Combinar a imagem original com o overlay vermelho
overlay_img = imadd(gray_img_rgb, red_overlay);
imshow(overlay_img, 'Parent', app.Overlay);

pause(1)
```

Fonte: Autoria própria, 2024.

Além disso, o processamento inclui a aplicação de pseudo-coloração, onde a imagem em escala de cinza é convertida em um mapa de cores (como o *colormap jet*). Esse método é útil para visualizar variações sutis nos dados de pixel, que podem não ser perceptíveis em uma imagem em preto e branco, figura 39.

Figura 39 - Código para implementação do filtro de pseudo-coloração

```
% ===== Pseudo-color =====
% Normalizar a imagem para a faixa de 0 a 255
img_normalized = mat2gray(imgGray); % Converte para valores entre 0 e 1
img_indexed = round(img_normalized * 255); % Converte para índices entre 0 e 255

% Aplicar o colormap jet como pseudo-color
img_pseudo = ind2rgb(img_indexed, jet(255)); % Aplica colormap jet

% Exibir a imagem pseudo-colorida no UIAxes_7
imshow(img_pseudo, 'Parent', app.Pseudo);
pause(1)
```

Fonte: Autoria própria, 2024.

O projeto também utiliza o filtro CLAHE (Equalização de Histograma Adaptativa de Contraste Limitado), uma técnica que ajusta o contraste de imagens com variação

de brilho inadequada. O CLAHE é particularmente útil para melhorar detalhes em imagens com áreas sombreadas ou com pouca diferença de contraste, figura 40.

Figura 40 - Código para implementação do filtro de CLAHE

```
% ===== Filtro CLAHE =====  
% Converter a imagem para escala de cinza  
imgGray = rgb2gray(img);  
  
% Aplicar Equalização de Histograma Adaptativa (CLAHE)  
imgCLAHE = adapthisteq(imgGray, 'ClipLimit', 0.02, 'Distribution', 'rayleigh');  
  
% Exibir a imagem original e a filtrada lado a lado  
imshow(imgCLAHE, 'Parent', app.CLAHE); % Exibe a imagem CLAHE no campo de visualização app.CLAHE  
end
```

Fonte: Autoria própria, 2024.

Por fim, o sistema calcula a área de regiões específicas da imagem, convertendo o número de pixels para medidas reais, como centímetros quadrados. Este cálculo é feito com base na resolução da imagem e nas propriedades geométricas das regiões identificadas, permitindo uma análise quantitativa precisa dos elementos destacados, figura 41.

Figura 41 - Código para implementação do cálculo da área

```
DPI = 96; % Ajuste conforme necessário
pixels_para_cm = 2.54 / DPI; % Converte pixels para centímetros

% Binarizar a imagem para detectar regiões de interesse
% Tente usar um limiar fixo mais baixo para capturar contornos mais escuros
bw = imbinarize(imgEnhanced, 0.4);

% Remover ruídos menores e preencher áreas
bw = bwareaopen(bw, 100); % Remove objetos menores que 100 pixels
bw = imfill(bw, 'holes'); % Preenche buracos nas regiões

% Encontrar contornos das regiões
B = bwboundaries(bw);

% Calcular propriedades das regiões
stats = regionprops(bw, 'Area');

% Exibir a imagem binarizada no app.Area
imshow(imgGray, 'Parent', app.Area);
hold(app.Area, 'on'); % Manter sobreposição para exibir contornos e áreas

% Garantir que estamos dentro dos limites de 'stats' e 'B'
num_contornos = min(length(B), length(stats));

% Desenhar os limites e mostrar as áreas sobre a imagem
for k = 1:num_contornos
    boundary = B{k};

    % Calcular a área da região atual em pixels
    area_pixels = stats(k).Area;

    % Converter área de pixels para centímetros quadrados
    area_cm2 = area_pixels * (pixels_para_cm)^2; % Converter de pixels² para cm²

    % Verificar se a área está dentro do intervalo especificado
    if area_pixels >= 5000 && area_pixels <= 6000
        % Desenhar o contorno da área
        plot(app.Area, boundary(:,2), boundary(:,1), 'r', 'LineWidth', 2);

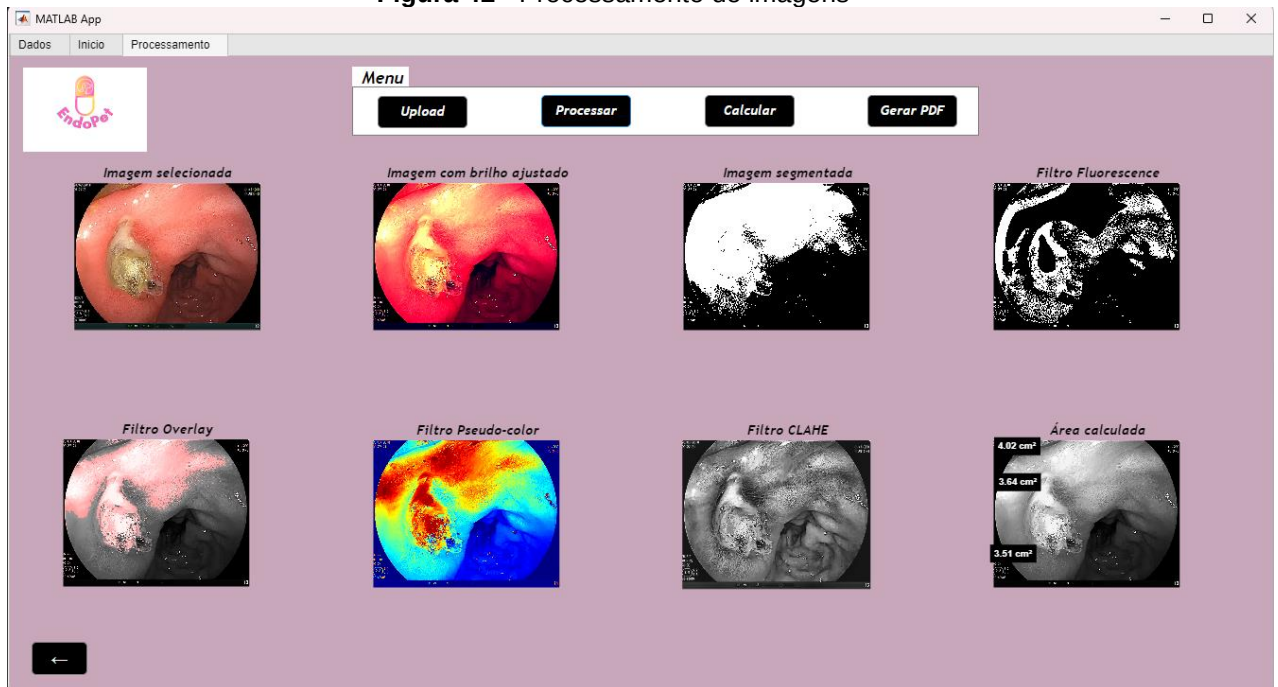
        % Exibir a área calculada em centímetros quadrados
        area_string = sprintf('%.2f cm²', area_cm2);

        % Exibir o texto com a área no gráfico, na posição média da borda
        text(app.Area, mean(boundary(:,2)), mean(boundary(:,1)), area_string, ...
            'Color', 'white', 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold', ...
            'BackgroundColor', 'black', 'FontName', 'Arial');
    end
end
hold(app.Area, 'off');
```

Fonte: Autoria própria, 2024.

Todo esse fluxo de processamento de imagem possibilita uma avaliação detalhada do trato gastrointestinal, permitindo a identificação de possíveis anomalias, figura 42.

Figura 42 - Processamento de imagens



Fonte: Autoria própria, 2024.

O botão “Gerar PDF” permite a criação de um relatório do exame realizado, como ilustrado na figura 43. O relatório inclui os dados preenchidos na primeira aba, seguidos pelas imagens processadas (figura 44), resultando em um arquivo de 8 páginas, conforme descrito no anexo C.

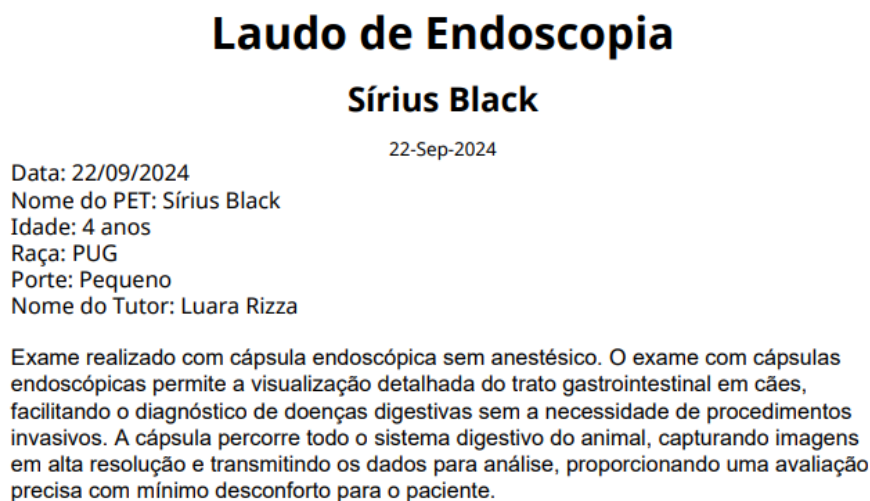
A função “Gerar PDF” automatizou a criação de um laudo do exame endoscópico, capturando as informações e imagens processadas e organizando-as em um relatório PDF. Inicialmente, o nome do arquivo foi definido como “Laudo_Endoscopia.pdf” e, caso já existisse uma versão anterior, o sistema a removia para evitar conflito de dados. Em seguida, uma capa foi preparada com o título “Laudo de Endoscopia” e a data atual, junto ao nome do tutor, nome do *pet*, raça, idade e porte, capturados diretamente dos campos de texto preenchidos na interface.

As imagens processadas nas diferentes etapas, como a imagem original, ajustada em brilho, segmentada, entre outras, foram exportadas em sequência para arquivos temporários. Essas imagens foram integradas ao relatório PDF, cada uma centralizada e com um título explicativo para facilitar a análise. Para fornecer contexto, uma descrição do exame de endoscopia com cápsula foi incluída, enfatizando a visualização detalhada do trato gastrointestinal sem necessidade de métodos invasivos. Ao concluir a montagem do relatório, o sistema salvou o PDF, excluiu os

arquivos de imagem temporários e exibiu uma mensagem de confirmação ao usuário. Esse processo ofereceu praticidade e padronização na geração de laudos endoscópicos, otimizando o tempo e garantindo a integridade das informações.

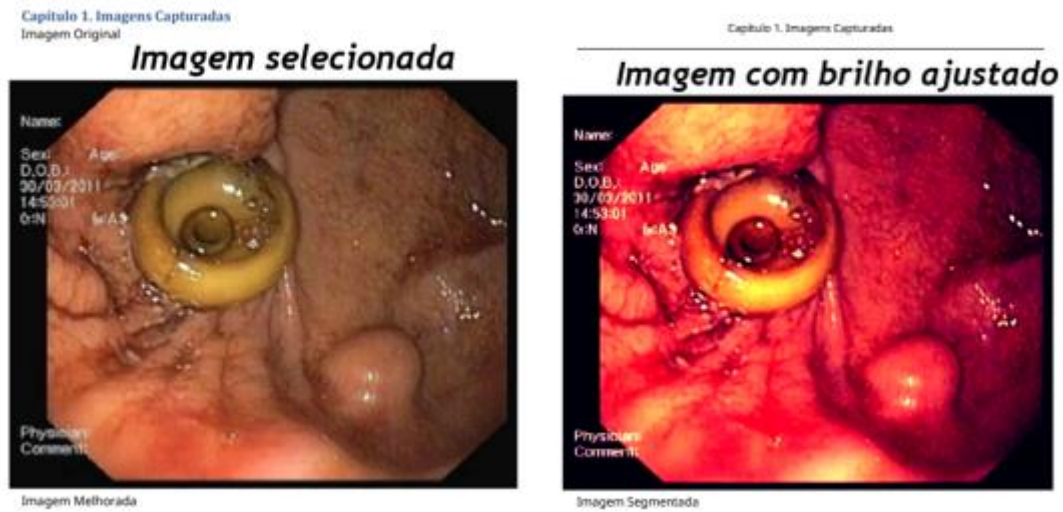
Uma alternativa para salvar as imagens foi adicionar um cartão SD, permitindo o armazenamento contínuo das imagens enquanto a câmera está em operação. O código inicializa a câmera ESP32-CAM com as configurações necessárias para capturar uma imagem e configura o cartão SD, verificando se ele está pronto para armazenar dados. Em seguida, ele captura uma foto com a câmera e salva essa imagem em formato JPEG no cartão SD. Para manter a organização dos arquivos, o código utiliza a EEPROM para armazenar o número da última foto tirada, garantindo que a próxima imagem tenha um nome sequencial, como `picture1.jpg`, `picture2.jpg`, e assim por diante. Após a captura, o LED da ESP32-CAM é desligado, e o dispositivo entra em modo de *"deep sleep"* para economizar energia até ser reativado para a próxima captura. Dessa forma, o código permite que a ESP32-CAM capture e armazene automaticamente as imagens no cartão SD, com numeração sequencial e economia de energia entre cada captura.

Figura 43 - Laudo de endoscopia - PDF



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 44 - Processamento das imagens PDF



Fonte: Autoria própria, 2024.

4.6 Validação da cápsula

O protótipo da cápsula endoscópica foi validado utilizando uma garrafa de diâmetro 6mm, simulando o trato gastrointestinal canino. A garrafa, fixada em uma base estável, continha como obstáculo manchas em seu interior, permitindo avaliar a transmissão imagens capturadas pela cápsula, inclusive a iluminação. Este método possibilitou testar a clareza, resolução e desempenho em um ambiente mais escuro e com um diâmetro semelhante ao gastrointestinal real.

O teste confirmou que a cápsula é capaz de transmitir imagens e o funcionamento do LED, essencial para diagnósticos clínicos no caso da cápsula endoscópica. A interface gráfica desenvolvida em MATLAB® permitiu a visibilidade (Figura 28) e aplicação de filtros, incluindo a gravação e o upload das imagens capturadas, facilitando a análise em tempo real e proporcionando uma ferramenta eficaz para aplicações veterinárias.

Outro teste realizado envolveu a comparação do tamanho do protótipo da cápsula EndoPet com as cápsulas endoscópicas disponíveis atualmente no mercado, como a ALICAM e a BioCam. Para essa avaliação, foi criada a Tabela 6.

Tabela 6 - Comparação de cápsulas endoscópicas veterinárias e a EndoPet

Modelo	Sensores	Fonte de Alimentação	Dimensões	Custo
ALICAM®	4 microcâmeras	Bateria	11 mm x 33 mm	*R\$ 6.274,33
BioCam	1 Câmera	Bateria	11mm x 23mm	*R\$ 3.790,52
EndoPet	1 Câmera	Não Contém	70mm x 100mm	R\$ 207,00

*Elaborado a partir dos *sites* (STEINMANN et al., 2020), (ALICAM, 2018) e (OLA, 2024) e custo convertido para a moeda Real em 03.11.24.

Fonte: Autoria própria*

Em termos de especificações, a EndoPet possui uma única câmera e não utiliza uma fonte de alimentação interna, o que contribui para sua simplicidade estrutural e maior dimensão (70 mm x 100 mm). Em contrapartida, tanto a ALICAM quanto a BioCam são menores e possuem sistemas de múltiplas câmeras ou sensores alimentados por bateria, aumentando sua funcionalidade e complexidade, mas também seu custo.

5 Conclusão

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um protótipo de cápsula endoscópica voltada para o diagnóstico de doenças gastrointestinais em cães, unindo diferentes áreas da engenharia biomédica para enfrentar os desafios dos diagnósticos veterinários minimamente invasivos. O projeto exemplifica a interdisciplinaridade da engenharia biomédica, integrando eletrônica, design de dispositivos, programação, processamento de imagens e interface gráfica em um único sistema inovador. Desde a escolha dos componentes eletrônicos até a construção de uma interface em MATLAB que permite visualização e processamento de imagens em tempo real, cada fase contribuiu para uma solução moderna e prática, beneficiando a medicina veterinária.

A interface desenvolvida foi capaz de processar imagens e detectar anomalias no trato gastrointestinal simulado, aplicando técnicas de segmentação e ajustes de brilho que melhoraram significativamente a visualização dos detalhes. Além disso, o botão “Gerar PDF” automatizou a criação de laudos detalhados, incluindo informações do paciente e imagens processadas, o que representa uma enorme vantagem em termos de praticidade, padronização e segurança dos dados. O sistema oferece uma ferramenta diagnóstica que minimiza a necessidade de procedimentos invasivos, com um potencial significativo para melhorar a experiência tanto dos pacientes quanto dos veterinários.

O protótipo também se destaca pela capacidade de integração de sensores que monitoram a localização e orientação da cápsula, por meio do módulo MPU-6050. Esta característica permite avaliar o percurso da cápsula e a captura de imagens de maneira mais precisa, fornecendo dados importantes para um diagnóstico detalhado. Os testes realizados em modelos simulados demonstraram a funcionalidade e a estabilidade do sistema em um ambiente que simula condições reais, validando sua aplicação como uma alternativa inovadora e viável para diagnósticos gastrointestinais em cães.

Observa-se que o protótipo EndoPet se destaca pelo custo significativamente inferior (R\$ 207,00) em relação aos modelos de mercado, como a ALICAM (R\$ 6.274,33) e a BioCam (R\$ 3.790,52). Essa diferença de custo pode representar uma vantagem econômica importante para clínicas veterinárias, especialmente em locais com recursos limitados.

No entanto, como qualquer tecnologia emergente, o projeto possui limitações. A qualidade das imagens capturadas em condições de baixa iluminação mostrou-se insuficiente para alguns tipos de diagnósticos, devido à resolução limitada da câmera ESP32-CAM, o que sugere a necessidade de sensores de imagem de maior resolução em futuras versões. A ausência de uma bateria interna também limita a mobilidade da cápsula e restringe a realização de testes em trajetórias de maior extensão. O tamanho da cápsula foi outro desafio, uma vez que a miniaturização de componentes como a câmera, LED e giroscópio é fundamental para aumentar a aplicabilidade em animais de pequeno porte sem comprometer o conforto e a segurança.

Apesar dessas limitações, o protótipo desenvolvido representa uma inovação significativa em dispositivos diagnósticos veterinários, oferecendo uma solução prática, acessível e com grande potencial de aprimoramento. Este projeto abre portas para o desenvolvimento de dispositivos médicos ainda mais compactos e eficientes, promovendo um avanço nos métodos diagnósticos não invasivos, especialmente na medicina veterinária. Além de reduzir o desconforto dos animais, a cápsula endoscópica desenvolvida permite diagnósticos mais rápidos e acessíveis, o que pode ampliar a disponibilidade de exames avançados em clínicas veterinárias.

Ensaio clínicos futuros em condições reais serão essenciais para validar plenamente sua aplicabilidade, mas os resultados deste estudo indicam que o objetivo inicial foi alcançado com sucesso. O protótipo posiciona-se como uma solução viável e de grande potencial para o diagnóstico de doenças gastrointestinais em cães, combinando inovação tecnológica e uma abordagem multidisciplinar que pode transformar a prática veterinária no futuro.

6 Perspectivas do trabalho

Este projeto de desenvolvimento de uma cápsula endoscópica para uso veterinário demonstra grande potencial para aprimoramentos futuros. A inclusão de uma bateria interna seria importante para tornar a cápsula autônoma, permitindo seu funcionamento contínuo ao longo do trato gastrointestinal sem necessidade de fonte de energia externa. A miniaturização dos componentes também é uma prioridade para aumentar o conforto e segurança em animais de pequeno porte.

Para melhorar a qualidade da imagem, especialmente em condições de baixa luminosidade, recomenda-se o uso de sensores de imagem de maior resolução e estabilidade, como os sensores CMOS de alto desempenho. Além disso, substituir o MATLAB por uma plataforma mais leve, como *Python* com *Tkinter* ou soluções *web* (*HTML*, *CSS* e *JavaScript*), que oferecem maior flexibilidade e compactação ao sistema, pode tornar a interface mais responsiva e fácil de integrar a dispositivos menores.

Esses aprimoramentos visam uma cápsula endoscópica mais eficiente, confiável e prática, ampliando seu potencial de aplicação em diversos cenários clínicos e promovendo diagnósticos veterinários mais seguros e precisos.

7. Referências Bibliográficas

- ALICAM. **ALICAM ® CAPSULE Ingestible Capsule Based Gastrointestinal Imaging Systems for Veterinary Use.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.alicamvet.com/wp-content/uploads/2018/11/Final-Alicam-Booklet_Revised-10_02_2018_IFU2269-RevE.pdf>. Acesso em: 3 maio. 2024.
- ALIEXPRESS. **20699.56R\$ 1% de desconto|Endoscópio veterinário flexível para a endoscopia do gato, do cão, do cavalo e do golfinho| - AliExpress.** Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/1005006254636553>>. Acesso em: 3 maio. 2024.
- ALIEXPRESS. **29256.39R\$ |Endoscópio veterinário flexível, endoscópio video médico| - AliExpress.** Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/i/1005006161384943.html>>. Acesso em: 3 maio. 2024.
- ALIEXPRESS. **75811.92R\$ |Gastrosópio veterinário flexível eletrônico, endoscópio video do veterinário| - AliExpress.** Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/1005005986215809.html?src=google>>. Acesso em: 3 maio. 2024.
- AMARAL, A. R. et al. **Acute skin adverse effects of a yeast- β -glucan-based prebiotic intake in two dogs with inflammatory bowel disease.** In: 26th Congress of the European Society of Veterinary and Comparative Nutrition, vol. 26, p. 179, 2022. Acesso em: 02 de maio de 2024.
- Asakawa, M. (Janeiro de 2016). Anesthesia for Endoscopy. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 46, pp. 31-44.
- AZEVEDO, M. P. **Sedação e anestesia em endoscopia digestiva.** In: CAVALCANTI, I. L.; CANTINHO, F. A. F.; ASSAD, A. *Medicina perioperatória*. Rio de Janeiro: Saerj, 2006. cap. 81, p.709-724.
- BANG, S. et al. (2009) **First clinical trial of the MiRo capsule endoscope by using a novel transmission technology: electric-field propagation, Gastrointestinal Endoscopy.** *American Society for Gastrointestinal Endoscopy*, 69(2), pp. 253–259. doi: 10.1016/j.gie.2008.04.033.
- BARCELLOS, R. R. **Corpos Estranhos Esofágicos em Cães.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Medicina Veterinária) - Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Acesso em 28 de abril de 2024.

BEHLE, L. **Avaliação videoendoscópica e histológica da mucosa gástrica de cães da raça Poodle Toy e sem raça definida submetidos ao tratamento experimental com meloxicam.** 2008. 76f. Dissertação. (Mestrado em Medicina Veterinária) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BIOCAM. **About Us - BioCam Capsule Endoscopy.** Disponível em: <<https://www.biocam.ai/about-us>>. Acesso em: 3 maio. 2024.

BOCH, Magdalena et al. **Functionally analogous body-and animacy-responsive areas are present in the dog (Canis familiaris) and human occipito-temporal lobe.** *Communications Biology*, v. 6, n. 1, p. 645, 2023. Acesso em: 27 abr. 2024.

BRAGA, P. F. de S.; IASBECK, J. R.; ALMEIDA, L. P. de. **Fatores associados a gastroenterite em cães.** *Revista de Educação Continuada em Medicina Veterinária e Zootecnia do CRMV-SP*, v. 12, n. 2, p. 73, 28 nov. 2014. Acesso em 28 de abril de 2024.

CAPSOVISION. **CapsoAccess® Capsule Data Access System Catalog Number: CDAS3.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://capsovision.com/wp-content/uploads/IFU-2800-Rev-F-CapsoAccess-CDAS3-Multilingual.pdf>>. Acesso em: 8 maio. 2024.

CARANDINA DA SILVA, L.; MARIA DE VASCONCELOS MACHADO, V. **O uso da endoscopia digestiva alta em pequenos animais.** *Revista Veterinária e Zootecnia*, 2024. Disponível em: <https://rvz.emnuvens.com.br/rvz/article/view/947/519>. Acesso em: 2 de maio 2024.

CASCON, C. M. et al. **Avaliação clínica, endoscópica e histopatológica de cães com doença inflamatória intestinal.** *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v. 37, n. 11, p. 1287-1291, novembro 2017. DOI: 10.1590/S0100-736X2017001100015. Acesso em: 08 de maio de 2024.

CENTER. **Ingestible Telemetric Gastrointestinal Capsule Imaging System.** Disponível em: <<https://www.fda.gov/medical-devices/guidance-documents-medical-devices-and-radiation-emitting-products/ingestible-telemetric-gastrointestinal-capsule-imaging-system-final-class-ii-special-controls>>. Acesso em: 8 maio. 2024.

CIUTI, G., MENCIASSI, A. AND DARIO, P. (2011) **Capsule Endoscopy: From Current Achievements to Open Challenges**, *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 4, pp. 59–72, 2011

CIUTI, Gastone; MENCIASSI, Arianna; DARIO, Paolo. **Capsule endoscopy: from current achievements to open challenges**. [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22273791/>. Acesso em: 29 abr. 2024.

DAY, M. J.; BILZER, T.; MANSELL, J.; WILCOCK, B.; HALL, E. J.; JERGENSK, A.; MINAMI, T.; WILLARD, M.; WASHABAU, R. **Histopathological standards for the diagnosis of gastrointestinal inflammation in endoscopic biopsy samples from the dog and cat: a report from the world small animal veterinary association gastrointestinal standardization group**. *Journal of Comparative Pathology*, London, v. 138, n. 1, p. 1-43, 2008.

EKENSTEDT, K. J.; CROSSE, K. R.; RISSELADA, M. **Canine brachycephaly: anatomy, pathology, genetics and welfare**. *Journal of comparative pathology*, v. 176, p. 109-115, 2020. Acesso em: 27 abr. 2024.

ELIZEIRE, Mariane. **Expansão do mercado pet e a importância do marketing na medicina veterinária**. [S. l.: s. n.], 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/80759>. Acesso em: 29 abr. 2024.

ENNS, C. et al. Assessment of Capsule Endoscopy Utilizing Capsocam Plus in Patients With Suspected Small Bowel Disease Including Pilot Study With Remote Access Patients During Pandemic. **Journal of the Canadian Association of Gastroenterology**, v. 4, n. 6, p. 269–273, 9 jan. 2021.

EVOLUÇÃO PET. **Endoscópio flexível Vscope com monitor**. Disponível em: <<https://www.evolucaoPET.com.br/veterinaria/acessorios-para-veterinaria/endoscopia-flexivel-vscopecom-monitor.html>>. Acesso em: 3 maio. 2024.

FAIZULLABHOY, M. **Capsule Endoscopy Market Size By Product (Capsule Endoscopes, Systems), By Application (Obscure Gastrointestinal Bleeding (OGIB), Crohn's Disease, Small Intestine Tumour), By End-Use (Hospitals, Ambulatory Surgery Centers), & Forecast, 2023 – 2032**. Disponível em: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/capsule-endoscopy-market#:~:text=Global%20market%20for%20capsule%20endoscopy,preference%20for%20minimally%20invasive%20procedures>. Acesso em: 1 maio. 2024.

FAIZULLABHOY, M. **Capsule Endoscopy Market Size By Product (Capsule Endoscopes, Systems), By Application (Obscure Gastrointestinal Bleeding (OGIB), Crohn's Disease, Small Intestine Tumour), By End-Use (Hospitals, Ambulatory Surgery Centers), & Forecast, 2023 – 2032**. Disponível em:

<<https://www.gminsights.com/industry-analysis/capsule-endoscopy-market#:~:text=Global%20market%20for%20capsule%20endoscopy,preference%20for%20minimally%20invasive%20procedures.>>. Acesso em: 1 maio. 2024.

FARIA, Bárbara Amaral. **Dilatação Vólvulo-Gástrica**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Medicina Veterinária) - Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2019.

FELICIANO, M.A.R. et al. **Avaliações ultrassonográfica e radiográfica dos efeitos da suplementação com dois tipos de probióticos sobre o intestino de cães filhotes**. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.62, n.5, p.1109-1116, 2010. Acesso em: 30 de abril de 2024.

FERREIRA, Cátia João Duarte Russo Rojão. **Abordagem Clínica em Casos de Ingestão de Corpos Estranhos em Cães**. 2021. Dissertação (Mestrado Integrado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2021. Acesso em 01 de maio de 2024.

GASPAR, E. B. et al. **Diagnóstico veterinário por ensaio imunoabsorvente ligado a enzima: revisão atualizada**. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Diagn%C3%B3stico-veterin%C3%A1rio-por-ensaio-imunoabsorvente-Gaspar-Minho/4b1f8aea32c4810c612a0091f9a8f23f074ef914#related-papers>>. Acesso em: 4 maio. 2024.

GIUMELLI, Raísa Duquia e SANTOS, Marciane Cleuri Pereira. **Convivência com animais de estimação: um estudo fenomenológico**. *Rev. abordagem gestalt.* [online]. 2016, vol.22, n.1, pp. 49-58. ISSN 1809-6867.

GIUMELLI, Raísa Duquia; SANTOS, Marciane Cleuri Pereira. **Convivência com Animais de Estimação: Um Estudo Fenomenológico**. *Revista da Abordagem Gestáltica - Phenomenological Studies*, v. 22, n. 1, p. 49-58, jan-jun 2016. Acesso em 05 de maio de 2024.

GIVEN IMAGING. **PillCam Capsule Endoscopy User Manual PillCam TM Desktop Software**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.pillcamcrohnsapsule.eu/assets/pdf/DOC-2928-02-PillCam-Desktop-SWv9UMEN.pdf>>.

GIVEN IMAGING. **PillCam GI Monitoring System. User manual**. Disponível em: <<https://fccid.io/O8PSMARTPILL/User-Manual/User-manual-2290351.pdf>>. Acesso em: 4 maio. 2024.

GONDIM, A. L. DE C. L. et al. Medidas de biossegurança para laboratórios de patologia clínica veterinária e a importância do seu conhecimento. **Pubvet**, v. 15, n. 2, p. 1–9, fev. 2021.

GRAND VIEW RESEARCH. **Capsule Endoscopy Market Size, Share, Growth Report 2030**. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/capsule-endoscopes-market>. Acesso em: 1 maio. 2024.

GRAND VIEW RESEARCH. **Capsule Endoscopy Market Size, Share, Growth Report 2030**. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/capsule-endoscopes-market>>. Acesso em: 1 maio. 2024.

GUILFORD, W. G. Upper gastrointestinal endoscopy. In: McCARTHY, T. C. *Veterinary endoscopy for the small animal practitioner*. New York: Elsevier, 2005. cap. 4, p. 279-321.

GUÍMARO, J. O. M. **Doença inflamatória crônica do intestino: estudo comparativo entre a imagem endoscópica e o resultado histopatológico em 73 canídeos**. 2010.125f. Dissertação (Mestrado Integrado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

HARVEY, R.; HALL, E. **Alergia/intolerância alimentar**. *Veterinary Focus*, Descalvado, SP: Royal Canin, v. 19, n. 1, p. 36-41, 2009. HILL'S. Disponível em: <http://www.hillspet.com/> Acesso em: 08 de maio de 2024.

HOSOE, N.; TAKABAYASHI, K.; OGATA, H.; KANAI, T. **Capsule endoscopy for small-intestinal disorders: Current status**. *Dig. Endosc.* 2019,31, 498–507, 2019

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Características étnico-raciais da população: classificações e identidades. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

IMARC. **Veterinary Endoscopy Market Report by Product (Capsule Endoscopes, Flexible Endoscopes, Rigid Endoscopes, Robot Assisted Endoscopes), Animal Type (Companion, Livestock), End User (Veterinary Hospitals, Academic Institutes, and Others), and Region 2024-2032**. Disponível em: <<https://www.imarcgroup.com/veterinary-endoscopy-market>>. Acesso em: 2 maio. 2024.

INFINITY MEDICAL. **About Us | Infiniti Medical**. Disponível em: <<https://infinitimedical.com/about-us/>>. Acesso em: 3 maio. 2024.

J. BERENS, M. MACKIEWICZ, G. D. BELL, AND C. J. (2004) **Can we detect when a wireless capsule endoscope WCE leaves the stomach using**

computational colour techniques? A pilot study, Endoscopy, 36(supplement 1), p. A76.

JERICÓ, Márcia Marques; ANDRADE NETO, João Pedro de; KOGIKA, Marcia Mery. **Tratado de Medicina Interna de Cães e Gatos**. Rio de Janeiro: Editora Roca, 2015. Acesso em: 01 de maio de 2024.

JINSHAN | LIFE INSIGHTS. **OMOM Smart Capsule 2. Capsule Endoscopy Systems User Manual**. Disponível em: <https://biotronitech.com.co/wp-content/uploads/2023/05/OMOM_User-Manual.pdf>. Acesso em: 4 maio. 2024.

JOHANNESSEN, E. A. et al. (2004) Implementation of Multichannel Sensors for Remote Biomedical Measurements in a Microsystems Format, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 51(3), pp. 525–535. doi: 10.1109/TBME.2003.820370.

KHARAZMI, A.A.; ASLANI, S.; KRISTIANSEN, M.F.; DAHL, E.E.; BERNER-HANSEN, M. **Indications and diagnostic yield of small-bowelcapsule endoscopy in a real-world setting**.BMC Gastroenterol.2020

KIM, S.H.; CHUN, H.J.**Capsule Endoscopy: Pitfalls andApproaches to Overcome**. Diagnostics,11, 1765.<https://doi.org/10.3390/diagnostics11101765>, 2021

KLUG, W. A.; NETO, P. S.; FONOFF, A. M.; FANG, C. B.; CANDELARIA, P. A.; CAPELHUCHNIK, P. **Preparo do intestino para colonoscopia com lactulona a 8%: modo da Santa Casa de São Paulo**. Revista Brasileira de Coloproctologia, Rio de Janeiro, v. 28, n. 1, p. 84-88, 2008.

KOPROWSKI, R. **Overview of technical solutions and assessment of the clinical usefulness of capsule endoscopy**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/284717527_Overview_of_technical_solutions_and_assessment_of_the_clinical_usefulness_of_capsule_endoscopy#fullTextFileContent>. Acesso em: 8 maio. 2024.

KOPROWSKI, ROBERT. **Overview of technical solutionsand assessment of clinical usefulness of capsuleendoscopy**. BioMed Eng OnLine (2015) 14:111DOI 10.1186/s12938-015-0108-3, 2015

KURACHI, G. et al. **Explosão de cólon após uso de manitol para preparo de colonoscopia: relato de caso**. J Coloproctol, Rio de Janeiro, n. 37, v. 1, p.65-66, 2017

LEANDRO, R. M.; SÁ, L. R. M. **Tumor estromal gastrointestinal em cães: estudo clínico-anatomopatológico.** *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v. 68, n. 4, p. 938-944, 2016. DOI: 10.1590/1678-4162-8767.

LIMA, J.; GISELE APARECIDA PACHECO; SIDNEY LINO OLIVEIRA. **ANÁLISE DOS FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE ESTIMAÇÃO DE CUSTOS DE IMPORTAÇÃO EM UM LABORATÓRIO VETERINÁRIO.** Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/AN%C3%81LISE-DOS-FATORES-QUE-INFLUENCIAM-O-PROCESSO-DE-Oliveira-Pacheco/b47949ea101b75342fac0e76c76b4b707c101567>>. Acesso em: 4 maio. 2024.

LOUREIRO, J. F. M et al. **Complicações em colonoscopia: artigo de revisão.** *GED gastroenterol endosc dig*, São Paulo, n. 32, v. 2, p.44-49, 2013

LUCIANI, M. G. et al. **Estenose esofágica em duas cadelas após ovário-histerectomia: Relato de caso.** *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 69, n. 4, p. 908-914, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9117>. Acesso em: 2 de maio de 2024.

MACHADO, Amanda Karen de Freitas. **Percepção dos tutores de cães e gatos do Distrito Federal sobre os princípios da guarda responsável e a influência no bem-estar animal e na saúde pública.** 2019. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Medicina Veterinária) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Acesso em 05 de maio de 2024.

MADE-IN-CHINA. **Flexible Colonoscopy Veterinary Endoscope Ent Portable System Endoscopy Equipment with Factory Price.** Disponível em: <<https://guangzhou-medical.en.made-in-china.com/product/BwPfGRFcMskj/China-Flexible-Colonoscopy-Veterinary-Endoscope-Ent-Portable-System-Endoscopy-Equipment-with-Factory-Price.html>>. Acesso em: 4 maio. 2024.

MAURIN, M., MULLINS, R. A., SINGH, A., & MAYHEW, P. D. (2020). **A systematic review of complications related to laparoscopic and laparoscopic-assisted procedures in dogs.** *Veterinary Surgery*, 49, 5–14. <https://doi.org/10.1111/vsu.13419>, 2020.

MEHEDI, I. M. et al. Intelligent Wireless Capsule Endoscopy for the Diagnosis of Gastrointestinal Diseases. **Diagnostics**, v. 13, n. 8, p. 1445–1445, 17 abr. 2023.

MICROCAM. **MicroCam Capsule Endoscopy Service Manual**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://fcc.report/FCC-ID/VAXINTROMEDIC/1062818.pdf>>. Acesso em: 8 maio. 2024.

MIN, J. et al. Robotics in the Gut. **ResearchGate**, 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (ED.). **LEGISLAÇÃO RELACIONADA AOS PRODUTOS DE USO VETERINÁRIO**. Disponível em: <https://www.sbcal.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=41>. Acesso em: 4 maio. 2024.

MOHAMMAD WAJIH ALAM; SEYED SHAHIM VEDAEI; WAHID, K. A. A Fluorescence-Based Wireless Capsule Endoscopy System for Detecting Colorectal Cancer. **Cancers**, v. 12, n. 4, p. 890–890, 6 abr. 2020a.

MOHAMMAD WAJIH ALAM; SEYED SHAHIM VEDAEI; WAHID, K. A. A Fluorescence-Based Wireless Capsule Endoscopy System for Detecting Colorectal Cancer. **Cancers**, v. 12, n. 4, p. 890–890, 6 abr. 2020b.

MOORE, L.E. et al. **Clinical Techniques in Small Animal Practice**, Vol 18, No 4 (November), 2003: pp 250-253

MORAILLON, R. et al. **Manual Elsevier de Veterinária**. 7a Edição, Ed. Elsevier Masson, 2013. Disponível em: [https://www.ufrb.edu.br/ccaab/images/AEPE/Divulgação/LIVROS/Manual Elsevier d e Veterinária Diagnóstico e Tratamento de Cães Gatos e Animais Exóticos - 7a Edição - Robert Morailon - 2013-compactado.pdf](https://www.ufrb.edu.br/ccaab/images/AEPE/Divulgação/LIVROS/Manual_Elsevier_de_Veterinaria_Diagnostico_e_Tratamento_de_Caes_Gatos_e_Animais_Exoticos_-_7a_Edicao_-_Robert_Morailon_-_2013-compactado.pdf). Acesso em: 2 de maio de 2024.

MOUTINHO, F. Q.; THOMASSIAN, A.; WATANABE, M. J.; SUZANO, S. M. C. SEQUEIRA, J. L. **Prevalência de helicobactérias e alterações na mucosa gástrica de cães saudáveis** *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v. 59, n. 4, p. 1080-1083, 2007.

NAM, S.-J. et al. **3D reconstruction of small bowel lesions using stereo camera-based capsule endoscopy**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/340482260_3D_reconstruction_of_small_bowel_lesions_using_stereo_camera-based_capsule_endoscopy#fullTextFileContent>. Acesso em: 8 maio. 2024.

NASCIMENTO, Isabella Aires. **Pancreatite em cães: Revisão de literatura**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Medicina Veterinária) – Centro Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos, Gama-DF, 2021. Acesso em 05 de maio de 2024.

NAVICAM . **Sedation-Free, RoboticallyControlled, Capsule Endoscopy**. Disponível em: <<https://www.anxrobotics.com/wp-content/uploads/2021/10/NaviCam-Stomach-Brochure.pdf>>. Acesso em: 4 maio. 2024.

NEUVAR. **Professional Veterinary Endoscope System, Vet Camera Endoscopic for Dog or Cat NEUVP01**. Disponível em: <https://www.neuvar.com/product/professional-veterinary-endoscope-system-vet-camera-endoscopic-for-dog-or-cat-mslvp01/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwltKxBhDMARIsAG8KnqX-KLwS06J9OhCAHrecQC7IBRApTkMbsDu1nbR9d4GeR18eomlai-saAviLEALw_wcB>. Acesso em: 3 maio. 2024.

NICE. **NaviCam for diagnosing gastrointestinal tract conditions Medtech innovation briefing**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.nice.org.uk/advice/mib104/resources/navicam-for-diagnosing-gastrointestinal-tract-conditions-pdf-2285963214299845>>. Acesso em: 3 maio. 2024.

OLYMPUS. **ENDOCAPSULE 10 SYSTEM Preparation and settings for capsule endoscopy**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.olympusprofed.com/wp-content/uploads/2018/08/ENDOCAPSULE10_SYSTEM_preparation_and_settings.pdf>. Acesso em: 8 maio. 2024.

OLYMPUS. **OLYMPUS ENDOCAPSULE INSTRUCTION MANUAL Pdf Download**. Disponível em: <<https://www.manualslib.com/manual/1560099/Olympus-Endocapsule.html#manual>>. Acesso em: 8 maio. 2024.

OMORI, T.; HARA, T.; SAKASAI, S.; KAMBAYASHI, H.; MURASUGI, S.; ITO, A.; NAKAMURA, S.; TOKUSHIGE, K. **Does the PillCam SB3capsule endoscopy system improve image reading efficiency irrespective of experience? A pilot study**. Endosc. Int. 2018

PAN, Guobing; WANG, Litong. Swallowable Wireless Capsule Endoscopy: Progress and Technical Challenges. **Gastroenterology Research and Practice**, [S. l.], p. 12-18, 19 set. 2012. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/grp/2012/841691/>. Acesso em: 28 abr. 2024.

PETERS, Gabriela Andrade. **Colite Histiocítica Ulcerativa em Cães: Revisão da literatura**.2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Medicina Veterinária) – Centro Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos, Gama-DF,2021. Acesso em: 05 de maio de 2024.

RAHMAN, I.; PIOCHE, M.; SHIM, C.S.; LEE, S.P.; SUNG, I.K.; SAURIN, J.C.; PATEL, P. **Magnetic-assisted capsule endoscopy in the upper GItract by using a novel navigation system (with video).***Gastrointest. Endosc.*2016,83, 889–895.e1, 2016
RF SYSTEM LAB. **RF - The Next Generation Capsule Endoscope Sayaka.** Disponível em: <<https://rfsystemlab.com/en/sayaka/>>. Acesso em: 8 maio. 2024.

RIBEIRO, K.T. **Corpo Estranho In: Sociedade Brasileira de Endoscopia Digestiva. Endoscopia digestiva alta.** 3 ed. Rio de Janeiro: Medsi, 2000, 104- 117 p

SALERNO, M. et al. (2012) **A discrete-time localization method for capsule endoscopy based on on-board magnetic sensing**, *Measurement Science and Technology*, 23(1), p. 015701. doi: 10.1088/0957-0233/23/1/015701.

SANTOS, Veríssimo Manuel Brandão Lima. **Deteção automática de lesões no intestino delgado por análise de imagens obtidas por cápsula endoscópica.** 2019. 246 f. Tese - Curso de Engenharia Biomédica, Universidade do Minho, Portugal, 2019

SCHNEIDER, A.; HUBERTUS FEUSSNER. *Diagnostic Procedures.* **Elsevier eBooks**, p. 87–220, 1 jan. 2017.

SILVA, E. C. S.; PINA, F. L. S.; TEIXEIRA, M. W. **Diagnóstico e tratamento da estenose esofágica pela via endoscópica em cão: relato de caso.** *Ciência Animal Brasileira, Goiânia*, v. 11, n. 2, p. 465-470, 2010.

SILVA, HELENA. **ENDOSCOPIA ALTA E RECUPERAÇÃO DE CORPOS ESTRANHOS EM CÃES REVISÃO INTEGRATIVA.** [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/36001/1/Helena_Silva_Relat%C3%B3rio_Est%C3%A1gio_Tipo_II_Corre%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 24 abr. 2024.

SILVA, LUCIANA. **O USO DA ENDOSCOPIA DIGESTIVA ALTA EM PEQUENOS ANIMAIS.** [S. l.: s. n.], 2015. Disponível em: <https://rvz.emnuvens.com.br/rvz/article/view/947>. Acesso em: 25 maio 2024.

SILVA, R. S. D. **Princípios em videocirurgia.** [S.l.]: ArtMed, 2006. (Silva, De Carli Cols.), 2006

SIMI, M. et al. (2010) **Magnetic link design for a robotic laparoscopic camera**, **Journal of Applied Physics**, 107(9), p. 09B302. doi: 10.1063/1.3352581, 2010

SODRÉ, N. et al. **Doença periodontal em cães e gatos - revisão de literatura**. Periódico de Medicina Veterinária, 2012. Acesso em 1 de maio de 2024.

SONCINI, M.; GIRELLI, C.M.; DE FRANCHIS, R.; RONDONOTTI, E. **SMALL-BOWEL Capsule Endoscopy in Clinical Practice: Has Anything Changed Over 13 Years?** Dig. Dis. Sci. 2018, 63, 2244–2250, 2018

STEINMANN, M. et al. A wireless endoscopy capsule suitable for imaging of the equine stomach and small intestine. **Journal of veterinary internal medicine**, v. 34, n. 4, p. 1622–1630, 8 jun. 2020.

STEPHANIE DE SOUZA THEODORO, M. **Afecções gastrointestinais em cães e gatos: Clínica das Doenças Carenciais, Endócrinas e Metabólicas**. 2018. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/clinicacv/AULUSCAVALIERICARCI OFI/suporte-alimentar-doenca-gastroenterica.pdf>. Acesso em 1 de maio de 2024.

SUM, S.; WARD, C.R. **Vet Clin Small Anim** 39 (2009) 881–902.

SUSILO, E. et al. (2009) **A miniaturized wireless control platform for robotic capsular endoscopy using advanced pseudokernel approach**, **Sensors and Actuators**, A: Physical, 156(1), pp. 49–58. doi: 10.1016/j.sna.2009.03.036.

TAMS, T. R.; CLARENCE A.R.; **Small Animal Endoscopy**. 3 ed. Elsevier, 2011.

THEODORO, Stephanie de Souza. **Afecções gastrointestinais em cães e gatos**. Residência em Nutrição e Nutrição Clínica de Cães e Gatos, Doutoranda em Medicina Veterinária, Laboratório de Pesquisa em Nutrição e Doenças Nutricionais de Cães e Gatos “Prof. Dr. Flávio Prada” – UNESP, Jaboticabal. Clínica das Doenças Carenciais, Endócrinas e Metabólicas. [S.l.: s.n., data de publicação não identificada]. Acesso em 1 de maio de 2024.

VILZ, T. O. et al. SmartPill® as an objective parameter for determination of severity and duration of postoperative ileus: study protocol of a prospective, two-arm, open-label trial (the PIDuSA study). **BMJ open**, v. 6, n. 7, p. e011014–e011014, 1 jul. 2016.

Washabau R.J., Day M.J., Willard M.D., Hall E.J., Jergens A.E., Mansell J., Minami T., Bilzer T.W. & W.I.G.S. Group 2010. **Endoscopic, biopsy, and histopathologic**

guidelines for the evaluation of gastrointestinal inflammation in companion animals. J. Vet. Intern. Med. 24(1):10-26. Acesso em: 08 de maio de 2024.

ZORAN, D. L. **Gastroduodenoscopy in the dog and cat.** *The Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, Philadelphia, v. 31, n. 3, p. 631-56, 2001.

ANEXOS

ANEXO A

https://www.adrobotica.com/wp-content/uploads/2019/07/Datasheet_ESP8266_esp32_en.pdf
{DATA SHEET ESP32}

ANEXO B – Código da interface gráfica

```
classdef AppTCC < matlab.apps.AppBase
% Properties that correspond to app components
properties (Access = public)
    UIFigure matlab.ui.Figure
    TabGroup matlab.ui.container.TabGroup
    DadosTab matlab.ui.container.Tab
    IniciarExameButton matlab.ui.control.Button
    SalvarButton matlab.ui.control.Button
    PorteListBox matlab.ui.control.ListBox
    PorteListBoxLabel matlab.ui.control.Label
    TutorTextArea matlab.ui.control.TextArea
    TutorTextAreaLabel matlab.ui.control.Label
    RacaTextArea matlab.ui.control.TextArea
    RaaTextAreaLabel matlab.ui.control.Label
    IdadeTextArea matlab.ui.control.TextArea
    IdadeTextAreaLabel matlab.ui.control.Label
    NomedopetTextArea matlab.ui.control.TextArea
    NomedopetTextAreaLabel matlab.ui.control.Label
    Image2 matlab.ui.control.Image
    Image matlab.ui.control.Image
    InicioTab matlab.ui.container.Tab
    GeolocalizarButton matlab.ui.control.Button
    ButtonTrocaAba matlab.ui.control.Button
    DADOSGEOLocalizaOLabel matlab.ui.control.Label
    ProcessarImagensButton matlab.ui.control.Button
    EndoPetInterfaceLabel matlab.ui.control.Label
    SalvarImagensButton matlab.ui.control.Button
    IniciarVdeoButton matlab.ui.control.Button
    Logo matlab.ui.control.Image
    Localizacao matlab.ui.control.EditField
```

```

LocalizacaoLabel matlab.ui.control.Label
Temperatura matlab.ui.control.EditField
TemperaturaLabel matlab.ui.control.Label
EditField matlab.ui.control.EditField
MENUEditField matlab.ui.control.EditField
MENUEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
Visu3D matlab.ui.control.UIAxes
Transmissao matlab.ui.control.UIAxes
ProcessamentoTab matlab.ui.container.Tab
ButtonTrocaAba_2 matlab.ui.control.Button
GerarPDFButton matlab.ui.control.Button
ProcessarButton matlab.ui.control.Button
UploadButton matlab.ui.control.Button
Logo2 matlab.ui.control.Image
MenuEditField matlab.ui.control.EditField
MenuEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
Area matlab.ui.control.UIAxes
Fluorescence matlab.ui.control.UIAxes
H_E matlab.ui.control.UIAxes
Pseudo matlab.ui.control.UIAxes
Overlay matlab.ui.control.UIAxes
Segmentado matlab.ui.control.UIAxes
Brilho matlab.ui.control.UIAxes
Upload matlab.ui.control.UIAxes
end
properties (Access = private)
% Propriedade personalizada para armazenar a distância total
totalDistance
cameraIP % Propriedade para armazenar o IP da câmera
end
methods (Access = private)
function lengths = setLengths(~, porte)
% Definir os comprimentos com base no porte
switch porte
case 1 % Cão muito pequeno
lengths = [0.2, 0.5, 1.5, 2.5, 3.0]; % Boca ao esôfago, estômago, intestino delgado,
intestino grosso, ânus
case 2 % Cão pequeno
lengths = [0.3, 0.7, 2.5, 4.0, 4.5];

```

```

case 3 % Cão médio
lengths = [0.4, 1.0, 4.0, 5.5, 6.0];
case 4 % Cão grande
lengths = [0.5, 1.2, 5.5, 7.0, 7.5];
case 5 % Cão muito grande
lengths = [0.6, 1.5, 7.0, 9.0, 9.5];
otherwise
disp('Porte inválido. Usando valores para cães muito pequenos.');
```

lengths = [0.2, 0.5, 1.5, 2.5, 3.0]; % Valor padrão para cães muito pequenos

```

end
end

% Exemplo de outro método auxiliar para obter o porte do cão
function porte = getPorte(app)
porte_str = app.PorteListBox.Value;
switch porte_str
case 'Muito pequeno'
porte = 1;
case 'Pequeno'
porte = 2;
case 'Médio'
porte = 3;
case 'Grande'
porte = 4;
case 'Muito grande'
porte = 5;
otherwise
disp('Porte inválido. Usando valores para cães muito pequenos.');
```

porte = 1;

```

end
end
end

% Callbacks that handle component events
methods (Access = private)

% Button pushed function: UploadButton
function caregarimagem(app, event)
% Abre a janela de diálogo para selecionar uma imagem
[fileName, filePath] = uigetfile({'*.jpg;*.jpeg;*.png'}, 'Selecione uma imagem');
% Verifica se uma imagem foi selecionada
if ischar(fileName) % Verifica se o fileName é uma string (imagem selecionada)
```

```

% Se uma imagem foi selecionada, carregue-a
fullImagePath = fullfile(filePath, fileName);
% Exibe a imagem no Axes
imshow(fullImagePath, 'Parent', app.Upload);
else
% Caso contrário, exibe uma mensagem de erro
errordlg('Nenhuma imagem selecionada.', 'Erro', 'modal');
end
end

% Button pushed function: ProcessarButton
function Processar(app, event)
% Verificar se uma imagem está carregada no Upload
if isempty(app.Upload.Children)
errordlg('Nenhuma imagem carregada.', 'Erro', 'modal');
return;
end

% Obter a imagem do Axes_2
img = app.Upload.Children.CData;
% ===== Aumento de brilho =====
% Melhorar a qualidade e resolução da imagem
% Aplicar filtro de suavização para melhorar a resolução
img = imresize(img, 2); % Exemplo de aumento da resolução em 2 vezes
% Ajustar o brilho da imagem
img = imadjust(img, [.2 .3 0; .6 .7 1], []); % Exemplo de ajuste de brilho
% Exibir a imagem melhorada no Axes_3
imshow(img, 'Parent', app.Brilho);
pause(1);
% ===== Binarização =====
% Converter a imagem para escala de cinza (se necessário)
if size(img, 3) == 3
imgGray = rgb2gray(img);
else
imgGray = img;
end

% Segmentar a imagem para destacar regiões de interesse
% Por exemplo, aplicar um limiar simples para segmentação binária
threshold = graythresh(imgGray); % Determinar o limiar automaticamente
imgBinary = imbinarize(imgGray, threshold); % Segmentação binária
% Exibir a imagem segmentada no Axes_5

```

```

imshow(imgBinary, 'Parent', app.Segmentado);
pause(1);
% ===== Fluorescence =====
% Aplicar um filtro para realçar fluorescência NIR
% Usar um filtro de contraste mais forte (ajustar parâmetros conforme necessário)
img_filtered = imadjust(imgGray, [0.3 0.7], [0 1]); % Ajuste de contraste
% Converter imagem filtrada para preto e branco
img_bw = imbinarize(img_filtered, 'adaptive'); % Binarização adaptativa
% Exibir a imagem segmentada no UIAxes_6
imshow(img_bw, 'Parent', app.Fluorescence);
pause(1);
% ===== Overlay =====
gray_img_rgb = cat(3, imgGray, imgGray, imgGray);
% Criar máscara para overlay (pode ajustar o limiar conforme necessário)
mask = imbinarize(imgGray, 0.6);
% Criar overlay vermelho
red_overlay = zeros(size(img), 'like', img);
red_overlay(:, :, 1) = cast(mask, 'like', img) * 255;
% Combinar a imagem original com o overlay vermelho
overlay_img = imadd(gray_img_rgb, red_overlay);
imshow(overlay_img, 'Parent', app.Overlay);
pause(1);
% ===== Pseudo-color =====
% Normalizar a imagem para a faixa de 0 a 255
img_normalized = mat2gray(imgGray); % Converte para valores entre 0 e 1
img_indexed = round(img_normalized * 255); % Converte para índices entre 0 e 255
% Aplicar o colormap jet como pseudo-color
img_pseudo = ind2rgb(img_indexed, jet(255)); % Aplica colormap jet
% Exibir a imagem pseudo-colorida no UIAxes_7
imshow(img_pseudo, 'Parent', app.Pseudo);
pause(1);
% ===== CLAHE =====
% ===== Filtro CLAHE =====
% Converter a imagem para escala de cinza
imgGray = rgb2gray(img);
% Aplicar Equalização de Histograma Adaptativa (CLAHE)
imgCLAHE = adapthisteq(imgGray, 'ClipLimit', 0.02, 'Distribution', 'rayleigh');
% Exibir a imagem original e a filtrada lado a lado

```

```

imshow(imgCLAHE, 'Parent', app.H_E); % Exibe a imagem CLAHE no campo de visualização
app.H_E
% ===== Conversão de Pixels para Centímetros =====
DPI = 96; % Defina o DPI da imagem (96 é o valor padrão, ajuste conforme necessário)
pixels_para_cm = 2.54 / DPI; % Converte pixels para centímetros
% Encontrar contornos
B = bwboundaries(imgGray);
% Calcular propriedades das regiões
stats = regionprops(imgGray, 'Area');
% Exibir a imagem no app.Area
imshow(imgGray, 'Parent', app.Area);
hold(app.Area, 'on'); % Manter sobreposição para exibir contornos e áreas
% Desenhar os limites e mostrar as áreas sobre a imagem
for k = 1:length(B)
    boundary = B{k};
    % Calcular a área da região atual em pixels
    area_pixels = stats(k).Area;
    % Converter área de pixels para centímetros quadrados
    area_cm2 = (area_pixels * (pixels_para_cm)^2); % Converter de pixels² para cm²
    % Verificar se a área é maior que 5000 pixels
    if (6000 > area_pixels) && (area_pixels >= 5000)
        % Desenhar o contorno
        plot(app.Area, boundary(:,2), boundary(:,1), 'red', 'LineWidth', 3);
        % Exibir a área calculada em centímetros quadrados
        area_string = sprintf('%.2f cm²', area_cm2);
        % Exibir o texto com a área no gráfico, na posição do primeiro ponto da borda
        text(app.Area, boundary(1,2), boundary(1,1), area_string, ...
            'Color', 'white', 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold', ...
            'BackgroundColor', 'black', 'FontName', 'Arial');
    end
end
% Finalizar com hold off
hold(app.Area, 'off');
end
% Button pushed function: GerarPDFButton
function GerarPDF(app, event)
% Definir o nome do arquivo PDF
pdfFilename = 'Laudo_Endoscopia.pdf';

```

```

% Tentar excluir o arquivo PDF se ele já existir
if isfile(pdfFilename)
try
delete(pdfFilename); % Exclui o arquivo para garantir que não esteja em uso
catch ME
uialert(app.UIFigure, 'Feche o arquivo PDF e tente novamente.', 'Erro');
return;
end
end

% Criar uma nova figura temporária para exportar imagens
tempFig = figure('Visible', 'off');
% Adicionar o cabeçalho e outros pontos
annotation(tempFig, 'textbox', [0.1 0.9 0.8 0.1], 'String', 'Laudo de Endoscopia',
'FontSize', 16, 'FontWeight', 'bold', 'EdgeColor', 'none');
annotation(tempFig, 'textbox', [0.1 0.85 0.8 0.1], 'String', sprintf('Data: %s',
datetime('now', 'Format', 'dd/MM/yyyy')), 'FontSize', 12, 'EdgeColor', 'none');
% Salvar as imagens dos UIAxes como arquivos temporários
exportgraphics(app.Upload, 'temp_original.png', 'Resolution', 300);
exportgraphics(app.Brilho, 'temp_brilho.png', 'Resolution', 300);
exportgraphics(app.Segmentado, 'temp_segmentado.png', 'Resolution', 300);
exportgraphics(app.Fluorescence, 'temp_fluorescence.png', 'Resolution', 300);
exportgraphics(app.Overlay, 'temp_overlay.png', 'Resolution', 300);
exportgraphics(app.Pseudo, 'temp_pseudo.png', 'Resolution', 300);
exportgraphics(app.Area, 'temp_area.png', 'Resolution', 300);
% Fechar a figura temporária
close(tempFig);
% Criar o relatório PDF
import mlreportgen.report.*;
import mlreportgen.dom.*;
% Criar o relatório PDF
report = Report(pdfFilename, 'pdf');
% Adicionar a capa personalizada com o nome do Pet
tp = TitlePage;
tp.Title = 'Laudo de Endoscopia';
tp.Author = char(app.NomedopetTextArea.Value); % Aqui usamos o nome do pet
add(report, tp);
% Adicionar a introdução
add(report, Paragraph(sprintf('Data: %s', datetime('now', 'Format',
'dd/MM/yyyy'))));

```

```

% Captura dos valores dos campos de texto para adicionar ao PDF
nomeTutor = char(app.TutorTextArea.Value);
nomePet = char(app.NomedopetTextArea.Value);
idadePet = char(app.IdadeTextArea.Value);
racaPet = char(app.RacaTextArea.Value);
portePet = char(app.PorteListBox.Value);
% Adicionar as informações do pet e tutor ao PDF como parágrafos separados
add(report, Paragraph(['Nome do PET: ' nomePet]));
add(report, Paragraph(['Idade: ' idadePet]));
add(report, Paragraph(['Raça: ' racaPet]));
add(report, Paragraph(['Porte: ' portePet]));
add(report, Paragraph(['Nome do Tutor: ' nomeTutor]));
% Adicionar um parágrafo vazio para espaçamento
add(report, Paragraph(' '));
% Inserir a descrição fictícia sobre o exame
descricao = Paragraph(['Exame realizado com cápsula endoscópica sem anestésico. '
...
'O exame com cápsulas endoscópicas permite a visualização detalhada do trato
gastrointestinal ' ...
'em cães, facilitando o diagnóstico de doenças digestivas sem a necessidade de
procedimentos invasivos. ' ...
'A cápsula percorre todo o sistema digestivo do animal, capturando imagens em alta
resolução e transmitindo os dados para análise, ' ...
'proporcionando uma avaliação precisa com mínimo desconforto para o paciente.']);
descricao.Style = {FontSize('12pt'), FontFamily('Arial'), HAlign('left')};
add(report, descricao);
% Adicionar o capítulo com o título personalizado "Imagens Capturadas"
chapter = Chapter('Title', 'Imagens Capturadas');
add(report, chapter);
% Adicionar imagens ao PDF, todas centralizadas
add(report, Paragraph('Imagem Original'));
img = mlreportgen.dom.Image('temp_original.png');
img.Style = {HAlign('center')};
add(report, img);
add(report, Paragraph('Imagem Melhorada'));
img = mlreportgen.dom.Image('temp_brilho.png');
img.Style = {HAlign('center')};
add(report, img);
add(report, Paragraph('Imagem Segmentada'));

```

```

img = mlreportgen.dom.Image('temp_segmentado.png');
img.Style = {HAlign('center')};
add(report, img);
add(report, Paragraph('Imagem Fluorescente'));
img = mlreportgen.dom.Image('temp_fluorescence.png');
img.Style = {HAlign('center')};
add(report, img);
add(report, Paragraph('Imagem com Overlay Vermelho'));
img = mlreportgen.dom.Image('temp_overlay.png');
img.Style = {HAlign('center')};
add(report, img);
add(report, Paragraph('Imagem Pseudo-Colorida'));
img = mlreportgen.dom.Image('temp_pseudo.png');
img.Style = {HAlign('center')};
add(report, img);
add(report, Paragraph('Imagem com área calculada'));
img = mlreportgen.dom.Image('temp_area.png');
img.Style = {HAlign('center')};
add(report, img);
% Fechar o relatório
close(report);
% Remover arquivos temporários
delete('temp_original.png');
delete('temp_brilho.png');
delete('temp_segmentado.png');
delete('temp_fluorescence.png');
delete('temp_overlay.png');
delete('temp_pseudo.png');
delete('temp_area.png');
% Mensagem de confirmação
uialert(app.UIFigure, 'PDF gerado com sucesso!', 'Sucesso');
end
% Button pushed function: IniciarVdeoButton
function IniciarVideo(app, event)
% Dentro da função de callback para o botão "Iniciar Vídeo"
% Abrir um diálogo para inserir o endereço IP da câmera
prompt = {'Insira o endereço IP da câmera:'};
dlgtitle = 'Endereço IP da Câmera';
dims = [1 50];

```

```

definput = {''}; % Nenhum IP padrão (opcional)
ip = inputdlg(prompt, dlgtitle, dims, definput);
% Verificar se o usuário cancelou o diálogo
if isempty(ip)
return; % Sai da função de callback
end
% Converter o endereço IP de célula para string e armazenar em `cameraIP`
app.cameraIP = ip{1};
% Defina o URL da câmera IP
url = ['http://' app.cameraIP ':81/stream']; % Concatena o IP com a porta da câmera
% Defina a taxa de quadros por segundo
frameRate = 30; % Taxa de quadros (ajuste conforme necessário)
% Inicie a visualização do vídeo no axes
previewAxes = app.Transmissao;
cam = ipcam(url);
% Loop para atualizar a visualização do vídeo
while isValid(previewAxes)
% Capturar um quadro da câmera IP
img = snapshot(cam);
% Exibir o quadro no axes
imshow(img, 'Parent', app.Transmissao);
% Adicionar um pequeno atraso para controlar a taxa de quadros
pause(1/frameRate);
end
% Limpar a câmera após a finalização
clear cam;
end
% Button pushed function: SalvarImagensButton
function SalvarImagens(app, event)
% Verificar se o IP já foi definido
if isempty(app.cameraIP)
disp('O vídeo não foi iniciado. Por favor, inicie o vídeo antes de salvar as
imagens.');
```

```

return;
end
% Permitir que o usuário escolha o diretório para salvar as imagens
filebase = uigetdir('C:\Users\DELL\Downloads\', 'Escolha a pasta para salvar as
imagens');
```

```

if filebase == 0
```

```

disp('Seleção de diretório cancelada. O programa será encerrado.');
```

```

return;
end
% Loop para captura e salvamento das imagens diretamente do Axes
for u = 1:5
% Capturar a imagem atual exibida no Axes
frame = getimage(app.Transmissao); % Pega a imagem exibida no Axes
if isempty(frame)
disp('Falha ao capturar imagem do vídeo.');
```

```

return;
end
% Salva a imagem no diretório escolhido
filename = fullfile(filebase, sprintf('%02d.jpg', u));
imwrite(frame, filename);
% Pausa de 30 segundos
pause(30);
end
end
% Button pushed function: ButtonTrocaAba, ButtonTrocaAba_2,
% ...and 1 other component
function TrocarAba(app, event)
% Verificar qual aba está ativa
if app.TabGroup.SelectedTab == app.InicioTab
% Se a aba 1 está ativa, trocar para a aba 2
app.TabGroup.SelectedTab = app.ProcessamentoTab;
else
% Se a aba 2 está ativa, trocar para a aba 1
app.TabGroup.SelectedTab = app.InicioTab;
end
end
% Button pushed function: SalvarButton
function SalvarButtonPushed(app, event)
% Captura o valor dos campos de texto e converte para string se necessário
nomeTutor = char(app.TutorTextArea.Value); % Converter para string
nomePet = char(app.NomedopetTextArea.Value); % Converter para string
idadePet = char(app.IdadeTextArea.Value); % Converter para string
racaPet = char(app.RacaTextArea.Value); % Converter para string
portePet = char(app.PorteListBox.Value); % Converter para string (especialmente para
ListBox)

```

```

% Exibe uma mensagem confirmando os dados capturados
mensagem = sprintf('Nome do Tutor: %s\nNome do Pet: %s\nIdade: %s\nRaça: %s\nPorte: %s', ...
nomeTutor, nomePet, idadePet, racaPet, portePet);
uialert(app.UIFigure, mensagem, 'Dados Capturados');
end

% Double-clicked callback: PorteListBox
function PorteListBoxDoubleClicked(app, event)
item = event.InteractionInformation.Item;
end

% Button pushed function: IniciarExameButton
function IniciarExameButtonPushed(app, event)
% Muda para a aba "Início"
app.TabGroup.SelectedTab = app.InicioTab;
end

% Button pushed function: GeolocalizarButton
function Geolocalizar(app, event)
porte = app.getPorte(); % Chama a função para obter o porte selecionado
% Exibe o porte selecionado para depuração
disp(['Porte selecionado: ', num2str(porte)]);
% 2. Ajustar as localizações com base no porte do cão
lengths = app.setLengths(porte); % Chama a função para calcular os comprimentos
disp('Regiões ajustadas conforme o porte do cão.');
```

% Definir as regiões do trato digestivo

```

regions = {"Boca ao Esôfago", "Estômago", "Intestino Delgado", "Intestino Grosso",
"Ânus"};
position = 0; % Inicializa a posição da cápsula
velocity = 0; % Inicializa a velocidade como zero
timeStep = 0.05; % Intervalo de tempo entre as leituras (em segundos)
acceleration_threshold = 0.05; % Limite mínimo de aceleração para considerar
movimento
totalDistance = 0; % Inicializa a distância total percorrida
currentRegion = 1; % Inicializa a primeira região
lastRegion = 0; % Variável para armazenar a última região
% Configuração da visualização 3D no eixo Visu3D
ax = app.Visu3D;
cla(ax); % Limpa o eixo antes de desenhar
% Configuração do gráfico 3D
axis(ax, [-2 2 -2 2 -2 2]);
```

```

view(ax, 3);
hold(ax, 'on');
% Criação de um cilindro 3D (sem deformação)
r = 0.5; % Raio do cilindro
h = 1.5; % Altura do cilindro
[x, y, z] = cylinder(r, 20); % '20' é o número de segmentos para suavizar
% Ajustar a altura do cilindro
z(2, :) = h;
% Desenhar o cilindro
cilindro3D = surf(ax, x, y, z, 'FaceColor', 'black', 'EdgeColor', 'none');
% Configuração inicial da porta serial
s = serialport('COM5', 115200, 'Timeout', 10);
configureTerminator(s, 'LF');
% Variáveis de rotação inicializadas
rotationX = 0;
rotationY = 0;
rotationZ = 0;
% Inicializar a leitura de dados e atualizar a orientação do cilindro
while true
try
data = readline(s); % Tentar ler dados da serial
disp(['Dados recebidos: ', data]);
% Expressão regular ajustada para capturar números, incluindo negativos e decimais
pattern = 'Accel X:\s*(-?\d+)\s*\|\s*Accel Y:\s*(-?\d+)\s*\|\s*Accel Z:\s*(-?\d+)\s*\|\s*Temp:\s*(-?\d+(\.\d+)?)\s*\|\s*Gyro X:\s*(-?\d+)\s*\|\s*Gyro Y:\s*(-?\d+)\s*\|\s*Gyro Z:\s*(-?\d+)';
tokens = regexp(data, pattern, 'tokens');
% Verifica se a leitura de tokens foi bem-sucedida
if ~isempty(tokens)
% Extração dos dados de aceleração, temperatura e giroscópio
accelData = str2double(tokens{1});
axVal = accelData(1);
ayVal = accelData(2);
azVal = accelData(3);
temperature = accelData(4); % Temperatura extraída
gxVal = accelData(5);
gyVal = accelData(6);
gzVal = accelData(7);
% Atualizar o campo de temperatura

```

```

app.Temperatura.Value = num2str(temperature); % Atualiza o campo de temperatura
disp('Campo de temperatura atualizado.');
```

% Exibir os valores do giroscópio (opcional)

```

disp(['Giroscópio X: ', num2str(gxVal), ' | Y: ', num2str(gyVal), ' | Z: ',
num2str(gzVal)]);
```

% **Corrigir Deformação do Cilindro**

% Atualizar a rotação acumulada do cilindro com base no giroscópio

```

rotationX = rotationX + gxVal * timeStep / 131; % Ajustar fator de sensibilidade do
giroscópio
```

```

rotationY = rotationY + gyVal * timeStep / 131;
rotationZ = rotationZ + gzVal * timeStep / 131;
```

% Criar matrizes de rotação 3D para cada eixo

```

Rz = [cosd(rotationZ) -sind(rotationZ) 0; sind(rotationZ) cosd(rotationZ) 0; 0 0
1];
Ry = [cosd(rotationY) 0 sind(rotationY); 0 1 0; -sind(rotationY) 0 cosd(rotationY)];
Rx = [1 0 0; 0 cosd(rotationX) -sind(rotationX); 0 sind(rotationX) cosd(rotationX)];
```

% Matriz de rotação composta (Z * Y * X)

```

rotationMatrix = Rz * Ry * Rx;
```

% Aplicar a rotação ao cilindro (sem deformar)

```

vertices = [x(:)'; y(:)'; z(:)'];
rotatedVertices = rotationMatrix * vertices;
xNew = reshape(rotatedVertices(1, :), size(x));
yNew = reshape(rotatedVertices(2, :), size(y));
zNew = reshape(rotatedVertices(3, :), size(z));
```

% Atualizar o cilindro com os vértices rotacionados

```

set(cilindro3D, 'XData', xNew, 'YData', yNew, 'ZData', zNew);
drawnow;
```

% **Restaurar Atualização da Localização**

% Calcular a aceleração total (considerando apenas o eixo Z)

```

accelerationZ = azVal * 9.81 / 16384.0; % Converte para m/s²
```

% Verifica se a aceleração é significativa (para evitar ruído)

```

if abs(accelerationZ) > acceleration_threshold
```

% Integra a aceleração para obter a velocidade

```

velocity = velocity + accelerationZ * timeStep; % Velocidade aproximada (m/s)
```

% Integra a velocidade para obter a distância

```

distance = velocity * timeStep; % Distância percorrida em metros
```

```

totalDistance = totalDistance + distance; % Atualiza a distância total percorrida
```

% Atualizar a região atual com base na distância total

```

sumLength = 0;
```

```

for i = 1:length(lengths)
    sumLength = sumLength + lengths(i);
    if totalDistance <= sumLength
        currentRegion = i;
        break;
    end
end

% Atualizar o campo de localização com a nova região
locationString = string(regions{currentRegion}); % Converte para string array
app.Localizacao.Value = locationString; % Atualiza o campo de localização
disp(['Campo de localização atualizado com: ', locationString]);
% Exibir quando a cápsula mudar de região
if currentRegion ~= lastRegion
    disp(['Cápsula entrou na nova região: ', locationString]);
    lastRegion = currentRegion; % Atualiza a última região
end
else
    disp('Aceleração muito baixa, sem movimento detectado.');
```

```

end
else
    disp('Dados inválidos recebidos.');
```

```

end
catch ME
    % Captura qualquer erro na leitura ou processamento da serial
    disp('Erro ao ler dados da serial:');
    disp(ME.message);
end
pause(0.05); % Intervalo entre leituras
end
end
end

% Component initialization
methods (Access = private)
% Create UIFigure and components
function createComponents(app)
% Get the file path for locating images
pathToMLAPP = fileparts(mfilename('fullpath'));
% Create UIFigure and hide until all components are created
app.UIFigure = uifigure('Visible', 'off');
```

```

app.UIFigure.Position = [100 100 1338 697];
app.UIFigure.Name = 'MATLAB App';
app.UIFigure.WindowStyle = 'modal';
% Create TabGroup
app.TabGroup = uitabgroup(app.UIFigure);
app.TabGroup.Position = [2 1 1338 697];
% Create DadosTab
app.DadosTab = uitab(app.TabGroup);
app.DadosTab.Title = 'Dados';
app.DadosTab.BackgroundColor = [0.9216 0.8784 0.9098];
% Create Image
app.Image = uiimage(app.DadosTab);
app.Image.Position = [433 1 1336 672];
app.Image.ImageSource = fullfile(pathToMLAPP, 'Endopet Cápsulas endoscópicas para
cães.png');
% Create Image2
app.Image2 = uiimage(app.DadosTab);
app.Image2.Position = [7 542 131 137];
app.Image2.ImageSource = fullfile(pathToMLAPP, 'Logo_1.png');
% Create NomedopetTextAreaLabel
app.NomedopetTextAreaLabel = uilabel(app.DadosTab);
app.NomedopetTextAreaLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.NomedopetTextAreaLabel.FontName = 'Trebuchet MS';
app.NomedopetTextAreaLabel.FontSize = 14;
app.NomedopetTextAreaLabel.FontWeight = 'bold';
app.NomedopetTextAreaLabel.Position = [46 537 94 22];
app.NomedopetTextAreaLabel.Text = 'Nome do pet: ';
% Create NomedopetTextArea
app.NomedopetTextArea = uitextarea(app.DadosTab);
app.NomedopetTextArea.FontName = 'Trebuchet MS';
app.NomedopetTextArea.FontSize = 14;
app.NomedopetTextArea.Position = [155 531 136 30];
% Create IdadeTextAreaLabel
app.IdadeTextAreaLabel = uilabel(app.DadosTab);
app.IdadeTextAreaLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.IdadeTextAreaLabel.FontName = 'Trebuchet MS';
app.IdadeTextAreaLabel.FontSize = 14;
app.IdadeTextAreaLabel.FontWeight = 'bold';
app.IdadeTextAreaLabel.Position = [95 487 46 22];

```

```

app.IdadeTextAreaLabel.Text = 'Idade: ';
% Create IdadeTextArea
app.IdadeTextArea = uitextarea(app.DadosTab);
app.IdadeTextArea.FontName = 'Trebuchet MS';
app.IdadeTextArea.FontSize = 14;
app.IdadeTextArea.Position = [156 485 136 26];
% Create RaaTextAreaLabel
app.RaaTextAreaLabel = uilabel(app.DadosTab);
app.RaaTextAreaLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.RaaTextAreaLabel.FontName = 'Trebuchet MS';
app.RaaTextAreaLabel.FontSize = 14;
app.RaaTextAreaLabel.FontWeight = 'bold';
app.RaaTextAreaLabel.Position = [102 437 41 22];
app.RaaTextAreaLabel.Text = 'Raça: ';
% Create RacaTextArea
app.RacaTextArea = uitextarea(app.DadosTab);
app.RacaTextArea.FontName = 'Trebuchet MS';
app.RacaTextArea.FontSize = 14;
app.RacaTextArea.Position = [158 437 133 21];
% Create TutorTextAreaLabel
app.TutorTextAreaLabel = uilabel(app.DadosTab);
app.TutorTextAreaLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.TutorTextAreaLabel.FontName = 'Trebuchet MS';
app.TutorTextAreaLabel.FontSize = 14;
app.TutorTextAreaLabel.FontWeight = 'bold';
app.TutorTextAreaLabel.Position = [93 274 45 22];
app.TutorTextAreaLabel.Text = 'Tutor: ';
% Create TutorTextArea
app.TutorTextArea = uitextarea(app.DadosTab);
app.TutorTextArea.FontName = 'Trebuchet MS';
app.TutorTextArea.FontSize = 14;
app.TutorTextArea.Position = [153 273 138 25];
% Create PortelListBoxLabel
app.PortelListBoxLabel = uilabel(app.DadosTab);
app.PortelListBoxLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.PortelListBoxLabel.FontName = 'Trebuchet MS';
app.PortelListBoxLabel.FontSize = 14;
app.PortelListBoxLabel.FontWeight = 'bold';
app.PortelListBoxLabel.Position = [101 376 45 22];

```

```

app.PortelListBoxLabel.Text = 'Porte:';
% Create PortelListBox
app.PortelListBox = uilistbox(app.DadosTab);
app.PortelListBox.Items = {'Muito pequeno', 'Pequeno', 'Médio', 'Grande', 'Muito
grande', ''};
app.PortelListBox.FontName = 'Trebuchet MS';
app.PortelListBox.FontSize = 14;
app.PortelListBox.DoubleClickedFcn = createCallbackFcn(app,
@PortelListBoxDoubleClicked, true);
app.PortelListBox.Position = [161 326 131 74];
app.PortelListBox.Value = 'Muito pequeno';
% Create SalvarButton
app.SalvarButton = uibutton(app.DadosTab, 'push');
app.SalvarButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @SalvarButtonPushed,
true);
app.SalvarButton.BackgroundColor = [0 0 0];
app.SalvarButton.FontName = 'Trebuchet MS';
app.SalvarButton.FontSize = 14;
app.SalvarButton.FontColor = [1 1 1];
app.SalvarButton.Position = [153 212 100 25];
app.SalvarButton.Text = 'Salvar';
% Create IniciarExameButton
app.IniciarExameButton = uibutton(app.DadosTab, 'push');
app.IniciarExameButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@IniciarExameButtonPushed, true);
app.IniciarExameButton.BackgroundColor = [0 0 0];
app.IniciarExameButton.FontName = 'Trebuchet MS';
app.IniciarExameButton.FontSize = 14;
app.IniciarExameButton.FontColor = [1 1 1];
app.IniciarExameButton.Position = [153 166 100 25];
app.IniciarExameButton.Text = 'Iniciar Exame';
% Create InicioTab
app.InicioTab = uitab(app.TabGroup);
app.InicioTab.Title = 'Inicio';
app.InicioTab.BackgroundColor = [0.6588 0.5098 0.6];
% Create Transmissao
app.Transmissao = uiaxes(app.InicioTab);
title(app.Transmissao, 'Transmissão ao vivo')
app.Transmissao.FontName = 'Trebuchet MS';

```

```

app.Transmissao.FontAngle = 'italic';
app.Transmissao.XTick = [];
app.Transmissao.YTick = [];
app.Transmissao.FontSize = 18;
app.Transmissao.Position = [34 99 408 373];
% Create Visu3D
app.Visu3D = uiaxes(app.InicioTab);
title(app.Visu3D, 'Visualização 3D')
app.Visu3D.FontName = 'Trebuchet MS';
app.Visu3D.FontAngle = 'italic';
app.Visu3D.XTick = [];
app.Visu3D.YTick = [];
app.Visu3D.FontSize = 18;
app.Visu3D.Position = [458 20 419 512];
% Create MENUEditFieldLabel
app.MENUEditFieldLabel = uilabel(app.InicioTab);
app.MENUEditFieldLabel.BackgroundColor = [1 1 1];
app.MENUEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.MENUEditFieldLabel.FontName = 'Trebuchet MS';
app.MENUEditFieldLabel.FontSize = 18;
app.MENUEditFieldLabel.FontWeight = 'bold';
app.MENUEditFieldLabel.Position = [931 509 53 23];
app.MENUEditFieldLabel.Text = 'MENU';
% Create MENUEditField
app.MENUEditField = uieditfield(app.InicioTab, 'text');
app.MENUEditField.FontName = 'Trebuchet MS';
app.MENUEditField.FontWeight = 'bold';
app.MENUEditField.FontAngle = 'italic';
app.MENUEditField.Position = [924 313 381 198];
% Create EditField
app.EditField = uieditfield(app.InicioTab, 'text');
app.EditField.FontName = 'Trebuchet MS';
app.EditField.FontSize = 18;
app.EditField.FontWeight = 'bold';
app.EditField.FontAngle = 'italic';
app.EditField.Position = [924 43 380 217];
% Create TemperaturaLabel
app.TemperaturaLabel = uilabel(app.InicioTab);
app.TemperaturaLabel.BackgroundColor = [0 0 0];

```

```

app.TemperaturaLabel.HorizontalAlignment = 'center';
app.TemperaturaLabel.FontName = 'Trebuchet MS';
app.TemperaturaLabel.FontSize = 18;
app.TemperaturaLabel.FontWeight = 'bold';
app.TemperaturaLabel.FontColor = [1 1 1];
app.TemperaturaLabel.Position = [947 129 131 34];
app.TemperaturaLabel.Text = 'Temperatura';
% Create Temperatura
app.Temperatura = uieditfield(app.InicioTab, 'text');
app.Temperatura.FontName = 'Trebuchet MS';
app.Temperatura.FontSize = 18;
app.Temperatura.FontWeight = 'bold';
app.Temperatura.FontAngle = 'italic';
app.Temperatura.Position = [1091 132 193 28];
% Create LocalizacaoLabel
app.LocalizacaoLabel = uilabel(app.InicioTab);
app.LocalizacaoLabel.BackgroundColor = [0 0 0];
app.LocalizacaoLabel.HorizontalAlignment = 'center';
app.LocalizacaoLabel.FontName = 'Trebuchet MS';
app.LocalizacaoLabel.FontSize = 18;
app.LocalizacaoLabel.FontWeight = 'bold';
app.LocalizacaoLabel.FontColor = [1 1 1];
app.LocalizacaoLabel.Position = [945 196 132 30];
app.LocalizacaoLabel.Text = 'Localização';
% Create Localizacao
app.Localizacao = uieditfield(app.InicioTab, 'text');
app.Localizacao.FontName = 'Trebuchet MS';
app.Localizacao.FontSize = 18;
app.Localizacao.FontWeight = 'bold';
app.Localizacao.FontAngle = 'italic';
app.Localizacao.Position = [1091 198 193 27];
% Create Logo
app.Logo = uiimage(app.InicioTab);
app.Logo.ScaleMethod = 'fill';
app.Logo.BackgroundColor = [1 1 1];
app.Logo.Position = [15 558 116 104];
app.Logo.ImageSource = fullfile(pathToMLAPP, 'Logo_1.png');
% Create IniciarVdeoButton
app.IniciarVdeoButton = uibutton(app.InicioTab, 'push');

```

```

app.IniciarVdeoButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @IniciarVideo,
true);
app.IniciarVdeoButton.BackgroundColor = [1 0 0];
app.IniciarVdeoButton.FontName = 'Trebuchet MS';
app.IniciarVdeoButton.FontSize = 18;
app.IniciarVdeoButton.FontWeight = 'bold';
app.IniciarVdeoButton.FontColor = [1 1 1];
app.IniciarVdeoButton.Position = [945 457 205 44];
app.IniciarVdeoButton.Text = 'Iniciar Vídeo';
% Create SalvarImagensButton
app.SalvarImagensButton = uibutton(app.InicioTab, 'push');
app.SalvarImagensButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @SalvarImagens,
true);
app.SalvarImagensButton.BackgroundColor = [0 0 0];
app.SalvarImagensButton.FontName = 'Trebuchet MS';
app.SalvarImagensButton.FontSize = 18;
app.SalvarImagensButton.FontWeight = 'bold';
app.SalvarImagensButton.FontColor = [1 1 1];
app.SalvarImagensButton.Position = [1011 393 205 45];
app.SalvarImagensButton.Text = 'Salvar Imagens';
% Create EndoPetInterfaceLabel
app.EndoPetInterfaceLabel = uilabel(app.InicioTab);
app.EndoPetInterfaceLabel.BackgroundColor = [0 0 0];
app.EndoPetInterfaceLabel.FontName = 'Trebuchet MS';
app.EndoPetInterfaceLabel.FontSize = 28;
app.EndoPetInterfaceLabel.FontWeight = 'bold';
app.EndoPetInterfaceLabel.FontColor = [1 1 1];
app.EndoPetInterfaceLabel.Position = [537 612 241 37];
app.EndoPetInterfaceLabel.Text = 'EndoPet Interface';
% Create ProcessarimagensButton
app.ProcessarimagensButton = uibutton(app.InicioTab, 'push');
app.ProcessarimagensButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @TrocarAba,
true);
app.ProcessarimagensButton.BackgroundColor = [0 0 0];
app.ProcessarimagensButton.FontName = 'Trebuchet MS';
app.ProcessarimagensButton.FontSize = 18;
app.ProcessarimagensButton.FontWeight = 'bold';
app.ProcessarimagensButton.FontColor = [1 1 1];
app.ProcessarimagensButton.Position = [1079 332 205 45];

```

```

app.ProcessarimagensButton.Text = 'Processar imagens';
% Create DADOSGEOLocalizaOLabel
app.DADOSGEOLocalizaOLabel = uilabel(app.InicioTab);
app.DADOSGEOLocalizaOLabel.BackgroundColor = [0 0 0];
app.DADOSGEOLocalizaOLabel.FontName = 'Trebuchet MS';
app.DADOSGEOLocalizaOLabel.FontSize = 18;
app.DADOSGEOLocalizaOLabel.FontWeight = 'bold';
app.DADOSGEOLocalizaOLabel.FontColor = [1 1 1];
app.DADOSGEOLocalizaOLabel.Position = [1005 259 219 23];
app.DADOSGEOLocalizaOLabel.Text = 'DADOS GEOLocalização';
% Create ButtonTrocaAba
app.ButtonTrocaAba = uibutton(app.InicioTab, 'push');
app.ButtonTrocaAba.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @TrocarAba, true);
app.ButtonTrocaAba.IconAlignment = 'center';
app.ButtonTrocaAba.WordWrap = 'on';
app.ButtonTrocaAba.BackgroundColor = [0 0 0];
app.ButtonTrocaAba.FontName = 'Trebuchet MS';
app.ButtonTrocaAba.FontSize = 18;
app.ButtonTrocaAba.FontColor = [1 1 1];
app.ButtonTrocaAba.Position = [1247 6 72 32];
app.ButtonTrocaAba.Text = '→';
% Create GeolocalizarButton
app.GeolocalizarButton = uibutton(app.InicioTab, 'push');
app.GeolocalizarButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @Geolocalizar,
true);
app.GeolocalizarButton.BackgroundColor = [0 0 0];
app.GeolocalizarButton.FontName = 'Trebuchet MS';
app.GeolocalizarButton.FontSize = 18;
app.GeolocalizarButton.FontColor = [1 1 1];
app.GeolocalizarButton.Position = [1057 70 115 30];
app.GeolocalizarButton.Text = 'Geolocalizar';
% Create ProcessamentoTab
app.ProcessamentoTab = uitab(app.TabGroup);
app.ProcessamentoTab.Title = 'Processamento';
app.ProcessamentoTab.BackgroundColor = [0.7804 0.6549 0.7255];
% Create Upload
app.Upload = uiaxes(app.ProcessamentoTab);
title(app.Upload, 'Imagem selecionada')
app.Upload.FontName = 'Trebuchet MS';

```

```

app.Upload.FontAngle = 'italic';
app.Upload.FontWeight = 'bold';
app.Upload.XTick = [];
app.Upload.YTick = [];
app.Upload.MinorGridColor = [0.149 0.149 0.149];
app.Upload.FontSize = 13;
app.Upload.Position = [16 358 303 201];
% Create Brilho
app.Brilho = uiaxes(app.ProcessamentoTab);
title(app.Brilho, 'Imagem com brilho ajustado')
app.Brilho.FontName = 'Trebuchet MS';
app.Brilho.FontAngle = 'italic';
app.Brilho.FontWeight = 'bold';
app.Brilho.XTick = [];
app.Brilho.YTick = [];
app.Brilho.FontSize = 13;
app.Brilho.Position = [344 358 303 201];
% Create Segmentado
app.Segmentado = uiaxes(app.ProcessamentoTab);
title(app.Segmentado, 'Imagem segmentada')
app.Segmentado.FontName = 'Trebuchet MS';
app.Segmentado.FontAngle = 'italic';
app.Segmentado.FontWeight = 'bold';
app.Segmentado.XTick = [];
app.Segmentado.YTick = [];
app.Segmentado.FontSize = 13;
app.Segmentado.Position = [672 358 303 201];
% Create Overlay
app.Overlay = uiaxes(app.ProcessamentoTab);
title(app.Overlay, 'Filtro Overlay')
app.Overlay.FontName = 'Trebuchet MS';
app.Overlay.FontAngle = 'italic';
app.Overlay.FontWeight = 'bold';
app.Overlay.XTick = [];
app.Overlay.YTick = [];
app.Overlay.FontSize = 13;
app.Overlay.Position = [16 87 303 201];
% Create Pseudo
app.Pseudo = uiaxes(app.ProcessamentoTab);

```

```

title(app.Pseudo, 'Filtro Pseudo-color')
app.Pseudo.FontName = 'Trebuchet MS';
app.Pseudo.FontAngle = 'italic';
app.Pseudo.FontWeight = 'bold';
app.Pseudo.XTick = [];
app.Pseudo.YTick = [];
app.Pseudo.FontSize = 13;
app.Pseudo.Position = [344 86 303 201];
% Create H_E
app.H_E = uiaxes(app.ProcessamentoTab);
title(app.H_E, {''; 'Filtro CLAHE'})
app.H_E.FontName = 'Trebuchet MS';
app.H_E.FontAngle = 'italic';
app.H_E.FontWeight = 'bold';
app.H_E.XTick = [];
app.H_E.YTick = [];
app.H_E.FontSize = 13;
app.H_E.Position = [672 84 303 219];
% Create Fluorescence
app.Fluorescence = uiaxes(app.ProcessamentoTab);
title(app.Fluorescence, 'Filtro Fluorescence')
app.Fluorescence.FontName = 'Trebuchet MS';
app.Fluorescence.FontAngle = 'italic';
app.Fluorescence.FontWeight = 'bold';
app.Fluorescence.XTick = [];
app.Fluorescence.YTick = [];
app.Fluorescence.FontSize = 13;
app.Fluorescence.Position = [1000 358 303 201];
% Create Area
app.Area = uiaxes(app.ProcessamentoTab);
title(app.Area, 'Área calculada')
app.Area.FontName = 'Trebuchet MS';
app.Area.FontAngle = 'italic';
app.Area.FontWeight = 'bold';
app.Area.XTick = [];
app.Area.YTick = [];
app.Area.FontSize = 13;
app.Area.Position = [1000 86 303 201];
% Create MenuEditFieldLabel

```

```

app.MenuEditFieldLabel = uilabel(app.ProcessamentoTab);
app.MenuEditFieldLabel.BackgroundColor = [1 1 1];
app.MenuEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.MenuEditFieldLabel.FontName = 'Trebuchet MS';
app.MenuEditFieldLabel.FontSize = 18;
app.MenuEditFieldLabel.FontWeight = 'bold';
app.MenuEditFieldLabel.Position = [362 639 61 23];
app.MenuEditFieldLabel.Text = ' Menu ';

% Create MenuEditField
app.MenuEditField = uieditfield(app.ProcessamentoTab, 'text');
app.MenuEditField.FontName = 'Trebuchet MS';
app.MenuEditField.FontSize = 14;
app.MenuEditField.FontWeight = 'bold';
app.MenuEditField.Position = [363 589 484 52];

% Create Logo2
app.Logo2 = uiimage(app.ProcessamentoTab);
app.Logo2.ScaleMethod = 'fill';
app.Logo2.BackgroundColor = [1 1 1];
app.Logo2.Position = [15 572 131 89];
app.Logo2.ImageSource = fullfile(pathToMLAPP, 'Logo_1.png');

% Create UploadButton
app.UploadButton = uibutton(app.ProcessamentoTab, 'push');
app.UploadButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @caregarimagem, true);
app.UploadButton.BackgroundColor = [0 0 0];
app.UploadButton.FontName = 'Trebuchet MS';
app.UploadButton.FontSize = 14;
app.UploadButton.FontWeight = 'bold';
app.UploadButton.FontColor = [1 1 1];
app.UploadButton.Position = [390 598 95 34];
app.UploadButton.Text = 'Upload';

% Create ProcessarButton
app.ProcessarButton = uibutton(app.ProcessamentoTab, 'push');
app.ProcessarButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @Processar, true);
app.ProcessarButton.BackgroundColor = [0 0 0];
app.ProcessarButton.FontName = 'Trebuchet MS';
app.ProcessarButton.FontSize = 14;
app.ProcessarButton.FontWeight = 'bold';
app.ProcessarButton.FontColor = [1 1 1];
app.ProcessarButton.Position = [563 598 95 34];

```

```

app.ProcessarButton.Text = 'Processar';
% Create GerarPDFButton
app.GerarPDFButton = uibutton(app.ProcessamentoTab, 'push');
app.GerarPDFButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @GerarPDF, true);
app.GerarPDFButton.BackgroundColor = [0 0 0];
app.GerarPDFButton.FontName = 'Trebuchet MS';
app.GerarPDFButton.FontSize = 14;
app.GerarPDFButton.FontWeight = 'bold';
app.GerarPDFButton.FontColor = [1 1 1];
app.GerarPDFButton.Position = [735 598 95 34];
app.GerarPDFButton.Text = 'Gerar PDF';
% Create ButtonTrocaAba_2
app.ButtonTrocaAba_2 = uibutton(app.ProcessamentoTab, 'push');
app.ButtonTrocaAba_2.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @TrocarAba, true);
app.ButtonTrocaAba_2.BackgroundColor = [0 0 0];
app.ButtonTrocaAba_2.FontName = 'Trebuchet MS';
app.ButtonTrocaAba_2.FontSize = 18;
app.ButtonTrocaAba_2.FontWeight = 'bold';
app.ButtonTrocaAba_2.FontAngle = 'italic';
app.ButtonTrocaAba_2.FontColor = [1 1 1];
app.ButtonTrocaAba_2.Position = [24 19 59 35];
app.ButtonTrocaAba_2.Text = '←';
% Show the figure after all components are created
app.UIFigure.Visible = 'on';
end
end
% App creation and deletion
methods (Access = public)
% Construct app
function app = AppTCC
% Create UIFigure and components
createComponents(app)
% Register the app with App Designer
registerApp(app, app.UIFigure)
if nargin == 0
clear app
end
end
% Code that executes before app deletion

```

```

function delete(app)
% Delete UIFigure when app is deleted
delete(app.UIFigure)
end
end
end

#include "esp_camera.h"

#include "Arduino.h"

#include "FS.h"           // SD Card ESP32

#include "SD_MMC.h"       // SD Card ESP32

#include "soc/soc.h"       // Disable brownout problems
#include "soc/rtc_cntl_reg.h" // Disable brownout problems
#include "driver/rtc_io.h"

#include <EEPROM.h>         // read and write from flash memory

// define the number of bytes you want to access

#define EEPROM_SIZE 1

// Pin definition for CAMERA_MODEL_AI_THINKER

#define PWDN_GPIO_NUM 32

#define RESET_GPIO_NUM -1

#define XCLK_GPIO_NUM 0

#define SIOD_GPIO_NUM 26

#define SIOC_GPIO_NUM 27

#define Y9_GPIO_NUM 35

```

```

#define Y8_GPIO_NUM    34
#define Y7_GPIO_NUM    39
#define Y6_GPIO_NUM    36
#define Y5_GPIO_NUM    21
#define Y4_GPIO_NUM    19
#define Y3_GPIO_NUM    18
#define Y2_GPIO_NUM     5
#define VSYNC_GPIO_NUM 25
#define HREF_GPIO_NUM  23
#define PCLK_GPIO_NUM  22

int pictureNumber = 0;

void setup() {
    WRITE_PERI_REG(RTC_CNTL_BROWN_OUT_REG, 0); //disable brownout detector

    Serial.begin(115200);

    //Serial.setDebugOutput(true);

    //Serial.println();

    camera_config_t config;

    config.ledc_channel = LEDC_CHANNEL_0;

    config.ledc_timer = LEDC_TIMER_0;

    config.pin_d0 = Y2_GPIO_NUM;

    config.pin_d1 = Y3_GPIO_NUM;

```

```

config.pin_d2 = Y4_GPIO_NUM;

config.pin_d3 = Y5_GPIO_NUM;

config.pin_d4 = Y6_GPIO_NUM;

config.pin_d5 = Y7_GPIO_NUM;

config.pin_d6 = Y8_GPIO_NUM;

config.pin_d7 = Y9_GPIO_NUM;

config.pin_xclk = XCLK_GPIO_NUM;

config.pin_pclk = PCLK_GPIO_NUM;

config.pin_vsync = VSYNC_GPIO_NUM;

config.pin_href = HREF_GPIO_NUM;

config.pin_sscb_sda = SIOD_GPIO_NUM;

config.pin_sscb_scl = SIOC_GPIO_NUM;

config.pin_pwdn = PWDN_GPIO_NUM;

config.pin_reset = RESET_GPIO_NUM;

config.xclk_freq_hz = 20000000;

config.pixel_format = PIXFORMAT_JPEG;


if(psramFound()){

    config.frame_size = FRAMESIZE_UXGA; // FRAMESIZE_ +
QVGA|CIF|VGA|SVGA|XGA|SXGA|UXGA

    config.jpeg_quality = 10;

    config.fb_count = 2;

} else {

    config.frame_size = FRAMESIZE_SVGA;

    config.jpeg_quality = 12;

```

```

    config.fb_count = 1;
}

// Init Camera

esp_err_t err = esp_camera_init(&config);

if (err != ESP_OK) {

    Serial.printf("Camera init failed with error 0x%x", err);

    return;

}

//Serial.println("Starting SD Card");

if(!SD_MMC.begin()){

    Serial.println("SD Card Mount Failed");

    return;

}

uint8_t cardType = SD_MMC.cardType();

if(cardType == CARD_NONE){

    Serial.println("No SD Card attached");

    return;

}

camera_fb_t * fb = NULL;

// Take Picture with Camera

```

```

fb = esp_camera_fb_get();

if(!fb) {

    Serial.println("Camera capture failed");

    return;

}

// initialize EEPROM with predefined size

EEPROM.begin(EEPROM_SIZE);

pictureNumber = EEPROM.read(0) + 1;


// Path where new picture will be saved in SD Card

String path = "/picture" + String(pictureNumber) + ".jpg";


fs::FS &fs = SD_MMC;

Serial.printf("Picture file name: %s\n", path.c_str());


File file = fs.open(path.c_str(), FILE_WRITE);

if(!file){

    Serial.println("Failed to open file in writing mode");

}

else {

    file.write(fb->buf, fb->len); // payload (image), payload length

    Serial.printf("Saved file to path: %s\n", path.c_str());

    EEPROM.write(0, pictureNumber);

    EEPROM.commit();

}

```

```
file.close();

esp_camera_fb_return(fb);


// Turns off the ESP32-CAM white on-board LED (flash) connected to GPIO 4
pinMode(4, OUTPUT);

digitalWrite(4, LOW);

rtc_gpio_hold_en(GPIO_NUM_4);


delay(2000);

Serial.println("Going to sleep now");

delay(2000);

esp_deep_sleep_start();

Serial.println("This will never be printed");
}

void loop() {
}
```

ANEXO C

Laudo de Endoscopia

Sírius Black

22-Sep-2024

Data: 22/09/2024

Nome do PET: Sírius Black

Idade: 4 anos

Raça: PUG

Porte: Pequeno

Nome do Tutor: Luara Rizza

Exame realizado com cápsula endoscópica sem anestésico. O exame com cápsulas endoscópicas permite a visualização detalhada do trato gastrointestinal em cães, facilitando o diagnóstico de doenças digestivas sem a necessidade de procedimentos invasivos. A cápsula percorre todo o sistema digestivo do animal, capturando imagens em alta resolução e transmitindo os dados para análise, proporcionando uma avaliação precisa com mínimo desconforto para o paciente.

Capítulo 1. Imagens Capturadas

Imagem Original

Imagem selecionada

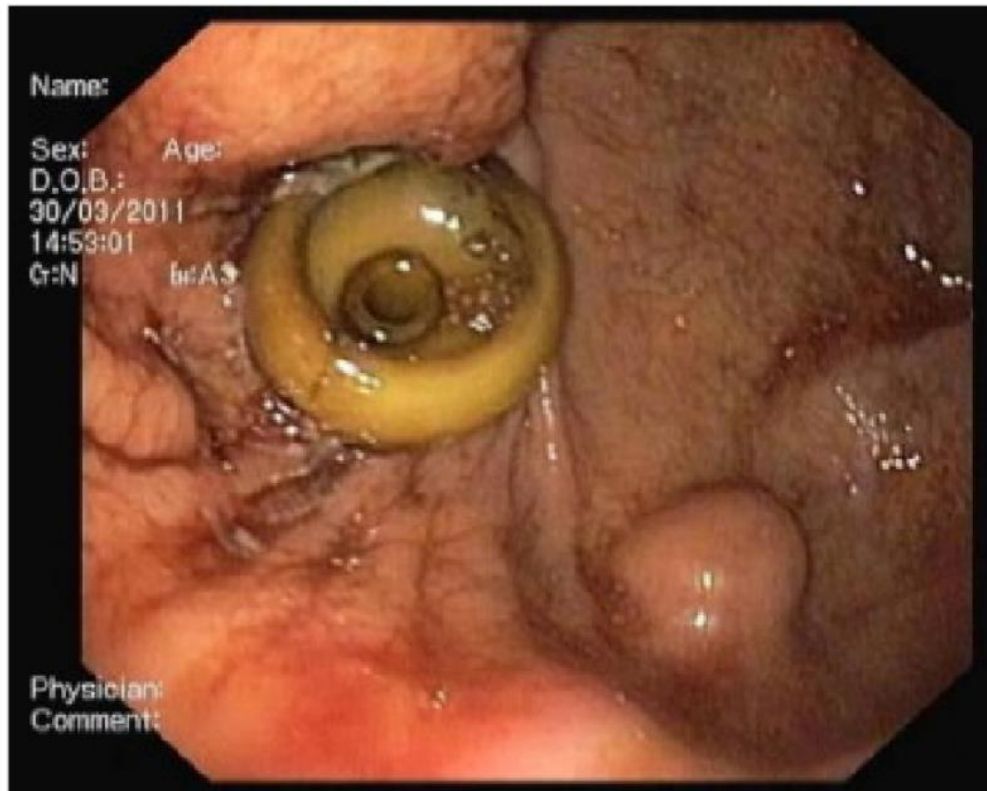


Imagem Melhorada

Imagem com brilho ajustado

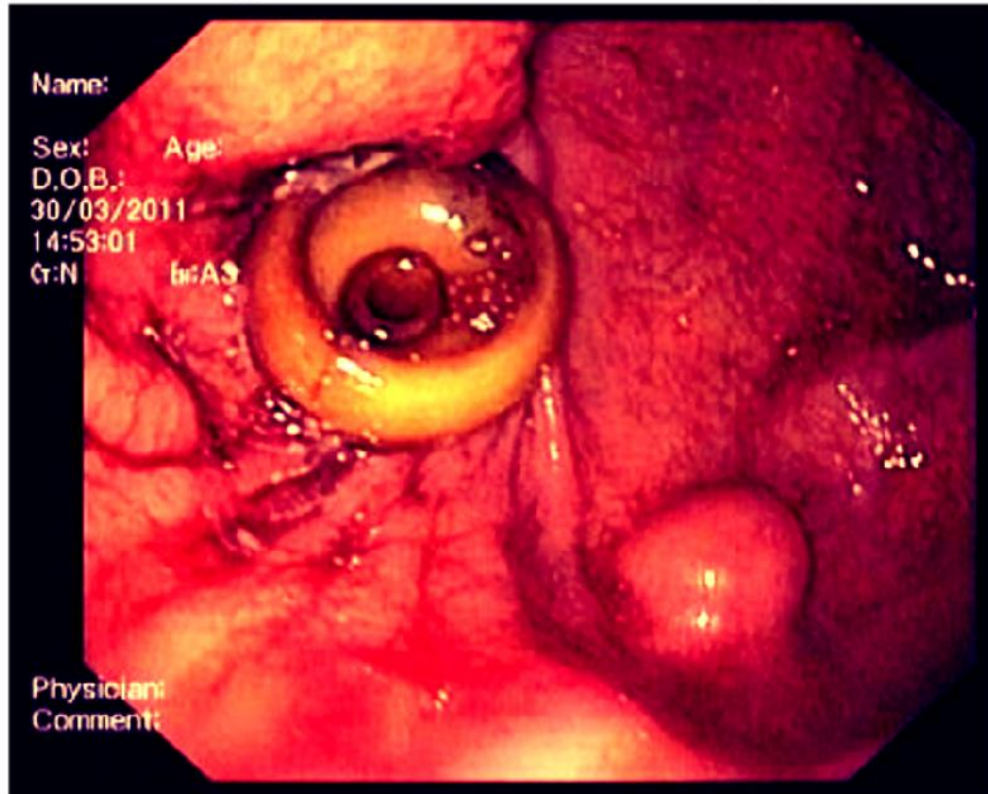


Imagem Segmentada

Imagem segmentada



Imagem Fluorescente

Filtro Fluorescence



Imagem com Overlay Vermelho

Filtro Overlay

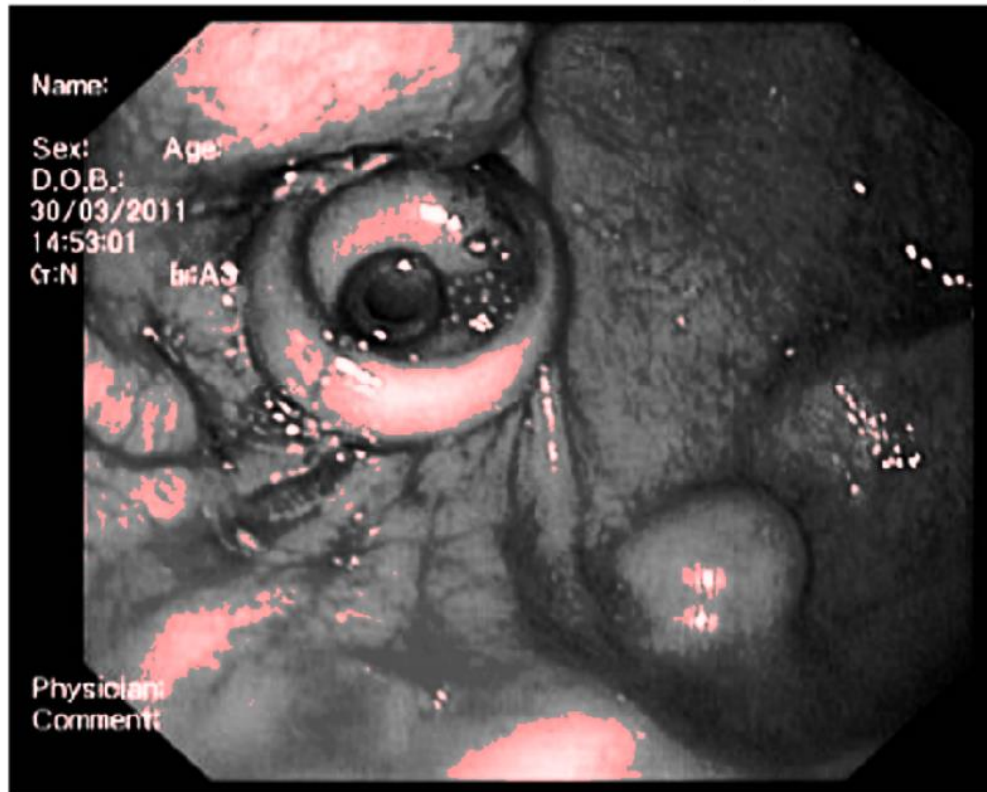


Imagem Pseudo-Colorida

Filtro Pseudo-color

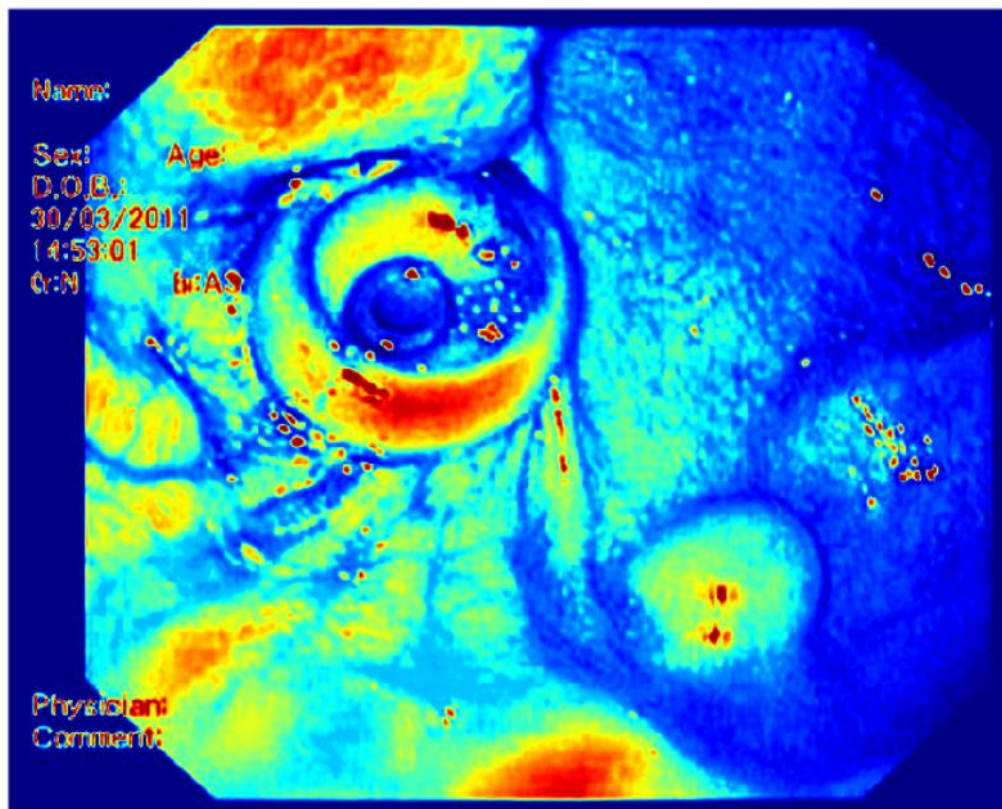
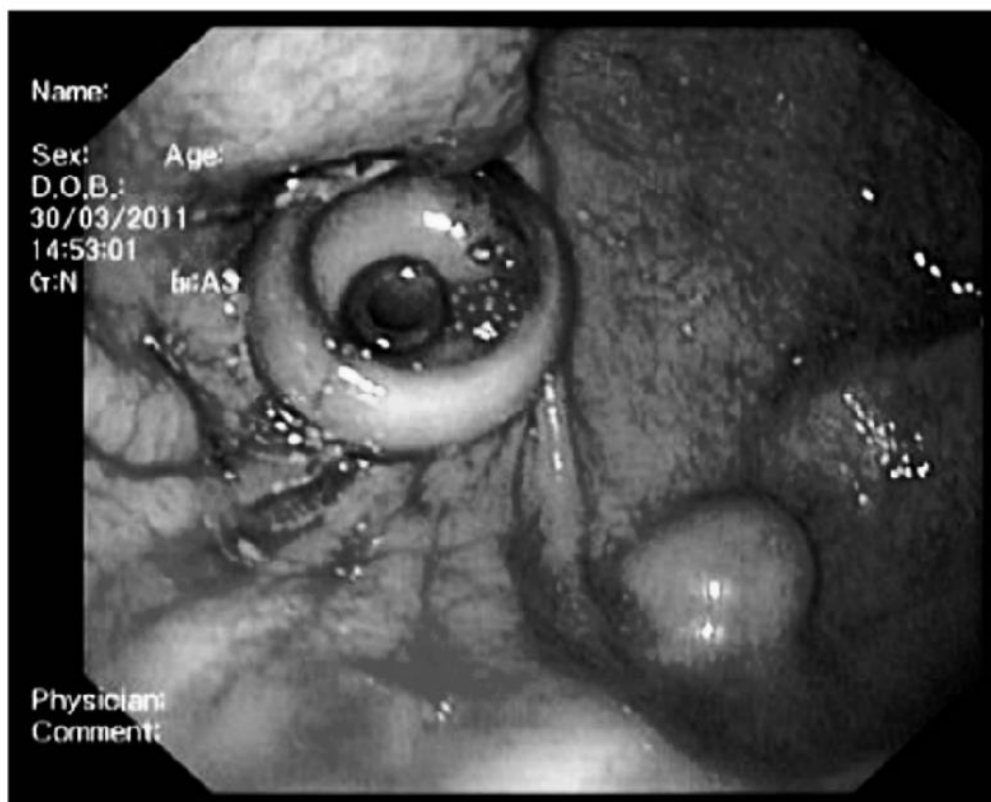


Imagem com área calculada

Área calculada



ANEXO D

