

Desenvolvimento de Software para Videolaringoscópio Assistivo de Baixo Custo Aplicado ao Treinamento e Ensino de Laringoscopia

Thiago G. R. M. de Alcântara
Escola Politécnica de Engenharia
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Rio de Janeiro – RJ – Brazil
thiagoguima@poli.ufrj.br

Bruno P. de Souza
PESC/COPPE
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Rio de Janeiro – RJ – Brazil
bpsouza@cos.ufrj.br

Guilherme H. Travassos
PESC/COPPE
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Rio de Janeiro – RJ – Brazil
ght@cos.ufrj.br

ABSTRACT

This work presents the development of a software system for an assistive technology video laryngoscope, integrating Internet of Things (IoT) principles and web technologies to enable real-time video transmission and remote interaction via mobile devices. The proposal aims to support healthcare professionals in their training and education for proper laryngoscope handling, addressing the shortage of practitioners adequately trained in endotracheal intubation. By combining hardware and software components in a client-server architecture—using an ESP32-CAM board, FSR (Force Sensing Resistor) sensors, and contemporary web technologies—the system offers a low-cost and accessible alternative, particularly suited for public educational institutions. With an estimated cost of R\$195.00, compared to similar equipment exceeding R\$10,000.00, the solution stands out as a viable, innovative, and scalable approach for healthcare education and clinical simulation. Initial system evaluations demonstrated the feasibility of building the video laryngoscope and confirmed its ability to connect, transmit, and receive data effectively.

KEYWORDS

Tecnologia assistiva; Videolaringoscópio; Engenharia da saúde; Dispositivos médicos; Internet das Coisas; Engenharia de Sistemas de Software Contemporâneos.

1 Problema e Motivação

O laringoscópio é um instrumento essencial em exames de laringe e processos de intubação endotraqueal [8][9]. Durante a pandemia de COVID-19 [1], a frequência desses procedimentos aumentou, assim como complicações decorrentes do uso inadequado do laringoscópio, como perda dental e lesões na garganta [5][6]. Esse cenário evidenciou tanto a escassez de equipamentos quanto a carência técnica de parte dos profissionais da saúde devidamente treinados em sua utilização [2]. Embora a videolaringoscopia, que utiliza câmeras para visualização em tempo real, já auxilie no

ensino e execução dos procedimentos [3][4], seu alto custo limita o acesso, especialmente em hospitais públicos e universidades, em que predominam simuladores e laringoscópios convencionais [7][12]. A Figura 1 exemplifica a utilização de um laringoscópio.

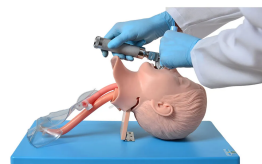


Figura 1: Uso de laringoscópio em modelo simulador

No ambiente acadêmico, a limitação de equipamentos e instrumentos de acompanhamento prejudica o ensino da laringoscopia, já que detalhes técnicos, como a força aplicada, dificilmente são percebidos por observadores [10][11]. Assim, professores enfrentam dificuldades em ensinar de forma precisa, o que compromete a formação dos futuros profissionais da saúde.

Nesse contexto, o desenvolvimento de um videolaringoscópio assistivo de baixo custo¹ surge como alternativa adequada, uma vez que ele pode ser capaz de fornecer informação em tempo real sobre a força exercida e a visualização do procedimento [6]. Entendemos que com isso o dispositivo pode aprimorar o treinamento dos alunos, permitindo-lhes ter um melhor e mais detalhado aprendizado com eficácia no manuseio do instrumento médico.

Este artigo está estruturado da seguinte maneira: a Seção 2 apresenta os objetivos gerais e específicos do trabalho; a Seção 3 descreve a metodologia adotada; a Seção 4 reúne os trabalhos relacionados encontrados na literatura; a Seção 5 detalha a proposta de solução do videolaringoscópio, bem como suas principais características; a Seção 6 expõe os resultados parciais e as discussões correspondentes; e, por fim, a Seção 7 traz as considerações finais e aponta os trabalhos em andamento.

In: V Concurso de Trabalhos de Iniciação Científica (CTIC 2025), Anais Estendidos do XXXI Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web (CTIC'2025), Rio de Janeiro/RJ, Brasil, Porto Alegre: Brazilian Computer Society, 2025.

©2025 SBC – Sociedade Brasileira de Computação.

ISSN: 2596-1683

¹ Neste trabalho, o termo “baixo custo” é empregado para indicar um valor acessível, capaz de viabilizar o uso do instrumento por um público mais amplo.

2 Objetivos e Questão de Pesquisa

O objetivo principal deste projeto foi construir um sistema de software para um videolaringoscópio assistivo de baixo custo, direcionado inicialmente ao uso em salas de aula para apoiar o treinamento e aprendizado de estudantes da saúde. O foco está em proporcionar uma experiência de ensino mais detalhada e eficaz, auxiliando professores e alunos no domínio da técnica de manuseio de um laringoscópio.

Para isso, alguns objetivos específicos foram definidos:

- Identificar os requisitos para um sistema de software voltado ao uso de um videolaringoscópio assistivo;
- Construir o circuito eletrônico e o software que será posteriormente embarcado no protótipo do videolaringoscópio impresso em 3D;
- Avaliar o sistema desenvolvido frente aos requisitos levantados.

É importante destacar que a modelagem física em 3D do dispositivo não faz parte do escopo deste trabalho. A solução desenvolvida, no entanto, foi concebida para ser futuramente acoplada ao modelo físico real impresso em 3D, voltado especificamente para o treinamento do laringoscópio em ambientes de ensino.

Para definir o escopo desse trabalho, uma questão de pesquisa foi elaborada: É possível construir um **sistema de videolaringoscopia assistivo IoT de baixo custo** para treinar profissionais de saúde em procedimentos de intubação?

3 Metodologia

Uma metodologia composta por quatro etapas principais foi definida e estruturada, cada uma delas planejada de forma a garantir a organização, a coerência e a efetividade do processo de pesquisa. Essa divisão em etapas possibilitou não apenas a sistematização das atividades, mas também a clareza na apresentação dos procedimentos adotados, favorecendo a reprodutibilidade e a compreensão dos resultados obtidos.

Na primeira etapa, realizou-se uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de identificar tanto soluções análogas ao videolaringoscópio assistivo quanto iniciativas que façam uso de sensores capazes de fornecer respostas em tempo real ao usuário.

A segunda etapa correspondeu à definição da arquitetura tecnológica do software (Figura 4), acompanhada de uma pesquisa voltada à delimitação e à concepção dos requisitos funcionais e não funcionais.

A terceira etapa contemplou a construção detalhada do projeto do videolaringoscópio assistivo, englobando a seleção criteriosa dos componentes, o *design* do circuito eletrônico, a integração com uma câmera para visualização em tempo real das imagens obtidas, a incorporação dos sensores de força, a montagem de um Produto Mínimo Viável (MVP) do dispositivo, a implementação do software embarcado e, por fim, o desenvolvimento de uma aplicação *web* destinada à exibição e ao monitoramento dos dados capturados pelo equipamento.

A etapa final realizou a avaliação do sistema de software desenvolvido. Para essa análise, foram elaborados cenários de

avaliação fundamentados nos requisitos previamente definidos no projeto. A partir desses cenários aplicados, eventuais inconsistências identificadas foram corrigidas, garantindo maior confiabilidade ao software.

Cabe destacar que a análise detalhada da estrutura física do laringoscópio impresso em 3D não faz parte do escopo deste trabalho, sendo mencionada apenas para contextualizar a solução proposta.

4 Trabalhos Relacionados

Os trabalhos relacionados foram identificados de maneira *ad hoc*, utilizando busca direta nas bases *Google Scholar* utilizando uma combinação de palavras-chave, como laringoscópio, IoT, tecnologia assistiva.

O trabalho de Ponraj et al. [13] propõe uma solução inovadora para detectar, sem fio e sem chip, a posição do tubo de intubação endotraqueal. Voltado à robótica, com destaque para a IoT, os testes com humanos indicam viabilidade e potencial integração a sistemas automatizados de intubação.

Karpenko et al., [14] desenvolveram um laringoscópio automatizado que utiliza as capacidades computacionais do *NVIDIA Jetson Nano* para automatizar a digitalização da garganta e localizar com precisão as cordas vocais através de imagens. O sistema utiliza um modelo de inteligência artificial (IA) treinado usando um mecanismo de aprendizado profundo na plataforma *Jetson Nano*. Os resultados de um estudo empírico revelaram indícios positivos em relação ao uso de IA no laringoscópio.

A análise dos trabalhos revela uma lacuna na aplicação da IoT à videolaringoscopia voltada ao treinamento médico. Enquanto soluções atuais priorizam diagnóstico automatizado [13] ou robótica [14], este projeto propõe um sistema IoT de baixo custo (até R\$ 195,00 por unidade), integrando transmissão de vídeo, coleta sensorial e assistência em tempo real. A abordagem oferece três avanços: (1) redução significativa de custo; (2) telemonitoramento inédito em videolaringoscópios para ensino; e (3) coleta de dados durante simulações, incomum em soluções dessa faixa de investimento.

5 Proposta de Solução

A solução consistiu no desenvolvimento de um videolaringoscópio assistivo de baixo custo. O objetivo central é oferecer uma solução capaz de transmitir vídeo em tempo real do procedimento de intubação, ao mesmo tempo em que fornece informação em tempo de utilização sobre a força aplicada na laringe e eventuais toques nos dentes, fatores críticos para a prática segura e eficiente da laringoscopia. Dessa forma, busca-se aliar acessibilidade tecnológica à melhoria da formação em saúde, reduzindo riscos e aumentando a qualidade do aprendizado prático.

O protótipo construído utiliza hardware baseado na placa ESP32-CAM, que desempenha o papel de servidor. Essa placa é responsável tanto pelo processamento dos dados dos sensores quanto pela transmissão de vídeo via rede Wi-Fi própria, dispensando infraestrutura externa. Os sensores utilizados são um

FSR, que registra a força aplicada à garganta, e um interruptor, que detecta o contato do dispositivo com os dentes. As informações adquiridas são apresentadas em uma aplicação *Web*, desenvolvida com Vue 3, Vite, HTML, CSS e JavaScript, que também pode ser utilizada como aplicativo nativo em dispositivos móveis por meio do CapacitorJS, oferecendo ao usuário uma visão completa do procedimento, enriquecida com dados objetivos. A Figura 2 apresenta o laringoscópio impresso em 3D e o posicionamento dos sensores do sistema.

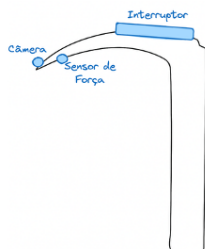


Figura 2: Laringoscópio impresso em 3D e posicionamento dos sensores

A Figura 3 ilustra a interface da aplicação móvel desenvolvida. A imagem da laringe é ilustrativa.

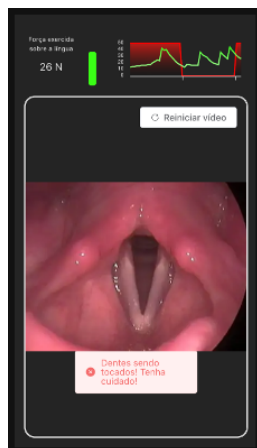


Figura 3: Aplicação Web

A solução proposta adota uma arquitetura cliente-servidor, em que o ESP32-CAM atua como *gateway* e provê simultaneamente o *stream* de vídeo, via MJPEG, e os dados dos sensores, transmitidos por *Server Sent Events* (SSE). Do lado do cliente, o acesso pode ser realizado tanto por navegadores em dispositivos móveis ou computadores, quanto por meio de um aplicativo nativo. O software desenvolvido, baseado em tecnologias *Web*, apresenta os dados de forma gráfica e gera alertas sobre força excessiva ou contato indesejado, oferecendo *feedback* em tempo real com atraso máximo de 500 milissegundos, dentro de limites aceitáveis para aplicações educacionais. A Figura 4 apresenta a organização da arquitetura adotada nesse trabalho.

Os requisitos funcionais e não funcionais foram definidos com apoio de uma enfermeira sênior que se dispôs a ajudar na obtenção

dos requisitos. Ela atuou como principal *stakeholder* desse projeto. Como exemplo de alguns requisitos funcionais, o software deve:

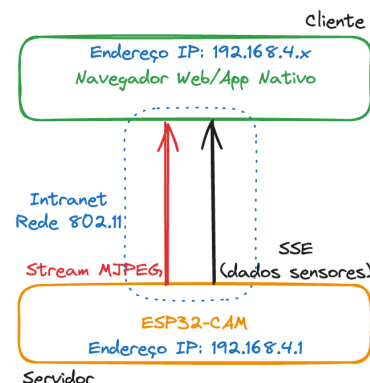


Figura 4: Arquitetura Geral da Solução

1. Possibilitar a visualização de vídeo em tempo real em um celular ou em qualquer dispositivo com navegador *web* instalado;
2. Fornecer informação em tempo de utilização ao usuário final a partir dos dados captados pelos sensores acoplados ao equipamento.

Entre esses sensores, incluem-se um sensor FSR, posicionado no ponto de contato do videolaringoscópio com a garganta, e um interruptor, acionado no momento em que o dispositivo toca os dentes do paciente. A Figura 2 apresenta o posicionamento dos sensores quando o protótipo for embarcado no laringoscópio impresso em 3D.

Como parte dos requisitos não funcionais, o software deve transmitir o vídeo com estabilidade adequada para verificação e visualização dos usuários, além de possuir uma interface agradável e intuitiva. Dessa forma, os requisitos não-funcionais foram descritos a seguir:

1. O software deve ter uma rede padrão IEEE 802.11 própria, dedicada à transmissão do vídeo e dados dos sensores.
2. O software deve se comunicar utilizando o protocolo HTTP via sua rede IEEE 802.11 privada.
3. A transmissão de vídeo deve ser feita utilizando uma *MJPEG Stream*.
4. Os dados dos sensores devem ser transmitidos através de *Server Sent Events*.
5. O software deve fornecer o vídeo em, no mínimo, 24 quadros por segundo em uma resolução de, no mínimo, 480p.
6. A informação dos dados dos sensores no equipamento deve ter um *delay* de, no máximo, 500 milissegundos.

6 Resultados obtidos

A solução proposta foi avaliada por meio de testes funcionais e de desempenho, focando no software e no sistema embarcado. Nos testes funcionais, o sistema apresentou comportamento conforme o esperado: em rede estável, vídeo e dados dos sensores foram exibidos continuamente; em rede instável, ocorreram interrupções temporárias; e em perda temporária de conexão, a transmissão foi

retomada automaticamente após a reconexão. Esses resultados indicaram que o protótipo é resiliente e atende aos requisitos funcionais de transmissão de vídeo em tempo real e atualização dos sensores.

Nos testes de desempenho, a transmissão de vídeo manteve-se estável a 25 FPS com resolução de 640x480, enquanto os dados dos sensores exibiram latência média de 0,40 s e P95 de 0,51 s, atendendo aos requisitos de atualização quase em tempo real. Esses resultados reforçaram a adequação da arquitetura baseada em IoT e Web, garantindo desempenho consistente, estabilidade e eficiência na visualização de vídeo e sensores, validando a solução como ferramenta para treinamento e ensino de profissionais de saúde.

Como resultado deste trabalho, um artigo também foi publicado no 25º Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde (SBCAS 2025) [15] demonstrando a criação do dispositivo com o software embarcado. Além disso, este trabalho está sob avaliação no INPI para fins de registro.

7 Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresenta uma inovação ao desenvolver o software e o hardware de um videolaringoscópio assistivo, marcando o início de uma tecnologia voltada à capacitação prática em laringoscopia. A proposta estabelece fundamentos para futuras etapas, que incluirão testes em campo para validar sua usabilidade e impacto no aprendizado dos profissionais de saúde. Trata-se de um primeiro passo decisivo na construção de uma solução tecnológica para o treinamento médico.

As limitações observadas revelam oportunidades claras de aprimoramento. A restrição da transmissão de vídeo a um único usuário, contrastando com a capacidade de múltiplas conexões dos sensores, indica potencial de otimização para fins educacionais. Além disso, a qualidade da imagem da ESP32-CAM foi afetada pela instabilidade da fonte de energia, gerando interferências visuais. Superar essas limitações será essencial nas próximas versões para garantir maior acessibilidade e desempenho técnico, consolidando a proposta como uma ferramenta eficaz no treinamento em laringoscopia.

Como trabalhos futuros, pretende-se: (i) acoplar o sistema ao dispositivo físico já impresso em 3D, viabilizando testes práticos com o protótipo final; (ii) implementar o conceito de "procedimento" na aplicação, permitindo o registro e análise de métricas como a força média aplicada; e (iii) realizar testes em ambiente de simulação com bonecos de aprendizado, validando a eficácia do sistema em cenários próximos à prática clínica. Esses avanços serão fundamentais para consolidar a solução como ferramenta eficaz no treinamento em laringoscopia.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao LENS/UFRJ pelo apoio ao projeto, com destaque à Patrícia Furtado pela contribuição essencial como representante dos stakeholders na área da saúde. Reconhecemos o suporte da CAPES, do CNPq e da FAPERJ. O Prof. Travassos atua como pesquisador do CNPq e Cientista do Nosso Estado pela FAPERJ.

REFERÊNCIAS

- [1] N. Pathak et al. IoT-to-the-rescue: A survey of IoT solutions for COVID-19-like pandemics. IEEE.. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3082838>
- [2] A. Massuda et al. The Brazilian health system at crossroads: progress, crisis, and resilience. *BMJ Global Health*, 3, 2018.. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2018-000829> .
- [3] M. B. Kaplan et al. Seeing is believing: the importance of video laryngoscopy in teaching and in managing the difficult airway. *Surgical Endoscopy*, 20(supl. 2), S479–S483, 2006. DOI: 10.1007/s00464-006-0038-z
- [4] M. B. Kaplan, D. S. Ward, G. Berci. A new video laryngoscope – an aid in intubation and teaching. *Journal of Education in Perioperative Medicine*, 5(1), E025, 2003. PMID: 27175418; PMCID: PMC4803417.
- [5] A. L. Feng et al. Laryngeal force sensor for suspension microlaryngoscopy: a prospective controlled trial. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 165(2), 329–338, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1177/0194599820982635> .
- [6] R. H. Hastings, E. D. Hon, C. Nghiem, E. A. Wahrenbrock. Force and torque vary between laryngoscopists and laryngoscope blades. *Anesthesia & Analgesia*, 82, 462–468, 1996. DOI: 10.1097/00000539-199603000-00005
- [7] E. Araujo, M. Lobo, A. Medici. Eficiência e sustentabilidade do gasto público em saúde no Brasil. *Jornal Brasileiro de Economia da Saúde*, 14(supl. 1), 86–95, 2022. <https://doi.org/10.21115/JBES.v14.n1>.
- [8] J. Tuckey, T. Cook, C. Render. An evaluation of the levering laryngoscope. *Anaesthesia*, 1996. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.1996.tb07658.x>
- [9] Y. Lu, H. Jiang, Y. Zhu. Airtraq laryngoscope versus conventional Macintosh laryngoscope: a systematic review and meta-analysis. *Anaesthesia*, 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2044.2011.06871.x
- [10] H. Aoumeur. The impact of class size on teaching and learning English as a foreign language: the case of the Department of English at Abdelhamid Ibn Badis University. *Arab World English Journal*, 8, 349–361, 2017. <https://dx.doi.org/10.24093/awej/vol8no2.25>
- [11] T. B. Nhokwara, D. O. Ashipala, M. H. Joel. Lived experiences of nursing students regarding learning in large classes and its effects on teaching and learning at the University of Namibia. *Curationis*, 45, 2022. doi: 10.4102/curationis.v45i1.2243
- [12] M. Panizzon, C. F. da Costa, I. B. de O. Medeiros. Práticas das universidades federais no combate à COVID-19: a relação entre investimento público e capacidade de implementação. *Revista de Administração Pública*, 54(4), 635–649, 2020. <https://dx.doi.org/10.1590/0034-761220200378>.
- [13] G. Ponraj, C. J. Cai, H. Ren. Chip-less real-time wireless sensing of endotracheal intubation tubes by printing and mounting a conformable antenna tag. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 7(2), 2369–2376, 2022. <https://doi.org/10.1109/LRA.2022.3141589> .
- [14] R. Karpenko, et al. AI-based laryngoscope equipped with vocal vision. 2024 IEEE 6th Eurasia Conference on Biomedical Engineering, Healthcare and Sustainability (ECBIOS), Tainan, Taiwan, 2024, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/ECBIOS61468.2024.10885416>
- [15] T. G. R. M. Alcântara, B. P. Souza, G. H. Travassos. Videolaringoscópio Assistivo de Baixo Custo para Ensino e Treinamento de Procedimentos de Intubação. In: SBCAS 2025, p. 1005. <https://doi.org/10.5753/sbcas.2025.7273>