

Videolaringoscópio Assistivo de Baixo Custo para Ensino e Treinamento de Procedimentos de Intubação

Thiago G. R. M. de Alcântara¹, Bruno P. de Souza², Guilherme H. Travassos²

¹ Escola Politécnica de Engenharia

²PESC/Coppe

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Rio de Janeiro – RJ – Brazil

thiagoguima@poli.ufrj.br {bpsouza, ght}@cos.ufrj.br

Abstract. *This paper introduces an innovative assistive video laryngoscopy system to enhance medical training and procedural visualization. It was built under the IoT paradigm by integrating hardware, software, sensors, and a camera within a traditional laryngoscope via a wireless network. It offers real-time data and enhanced visuals. Preliminary evaluations, informed by interviews with nurses, indicate that the system adheres to functional and performance requirements, demonstrating its potential to improve healthcare professionals' instrument handling skills.*

Resumo. *Este artigo apresenta um sistema inovador de videolaringoscopia assistiva projetado para aprimorar o ensino e treinamento médico e a visualização dos procedimentos. Este sistema foi construído sob o paradigma da IoT. Ao integrar hardware, software, sensores e uma câmera em um laringoscópio tradicional por meio de uma rede sem fio, o sistema oferece dados em tempo real e visuais aprimorados. Avaliações preliminares têm indicado a aderência do sistema aos requisitos funcionais e de desempenho, demonstrando seu potencial para melhorar as habilidades de manuseio pelos profissionais de saúde.*

1. Introdução

O laringoscópio é um instrumento amplamente utilizado na saúde, tanto para exames da laringe quanto para intubação endotraqueal, procedimento que se tornou mais frequente durante a pandemia de COVID-19 (Pathak et al., 2020). Dessa maneira, o uso inadequado do laringoscópio, especialmente a aplicação de força excessiva, pode causar complicações pós-operatórias, como perda dental e danos na garganta, necessitando que profissionais da saúde façam uso adequado do mesmo (Hastings et al., 1996). A pandemia evidenciou a falta de treinamento técnico adequado desses profissionais no manuseio desse instrumento para lidar com tais questões (Pathak et al., 2021).

Em ambientes universitários, onde o ensino e treinamento são realizados, os alunos têm acesso a laringoscópios convencionais compartilhados entre si, o que dificulta o aprendizado, especialmente no que diz respeito à força aplicada durante o procedimento (Panizzon et al., 2020; Aoumeur, 2017; Nhokwara et al., 2022). Com o surgimento da videolaringoscopia, que utiliza uma câmera acoplada ao laringoscópio, o ensino e a execução dos procedimentos de intubação têm se tornado mais fácil (Kaplan et al., 2006), porém, seu acesso é limitado devido ao custo elevado de um videolaringoscópio (Araujo

et al., 2022), fazendo com que os desafios relacionados à técnica e sutileza no seu manuseio ainda persistam (Schieren, et al., 2019).

Diante dos desafios no manuseio do laringoscópio e da necessidade de um aprendizado adequado, um sistema tecnológico baseado no paradigma da Internet das Coisas (em inglês, *Internet of Things* - IoT) em que fornece resposta em tempo de utilização sobre o processo de intubação endotraqueal, incluindo a força exercida, representa uma oportunidade de inovação para executar procedimentos reais de intubação e treinamento de profissionais (Hastings et al., 1996). Adicionalmente, por meio de imagens, o sistema pode oferecer uma visualização clara, orientação precisa e apoio ao uso e treinamento das habilidades dos profissionais da saúde.

A IoT engloba a integração com diversos sistemas de software, dispositivos, sensores, middleware e atuadores, possibilitando a percepção, recepção e envio de dados do ambiente (Motta, et al., 2018). Assim, esta pesquisa tem o propósito de desenvolver um videolaringoscópio assistivo de baixo custo¹ no paradigma da IoT. A principal questão (QP) de pesquisa para este trabalho em andamento é: “*É possível conceber um sistema de videolaringoscopia assistido IoT de baixo custo que possa ser usado para treinar profissionais de saúde nos procedimentos de intubação?*”

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 descreve os trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta a proposta de solução do *videolaringoscópio* e suas características. Na Seção 4, a avaliação inicial do *videolaringoscópio* é executada. Os resultados parciais e discussões são apresentados na seção 5. Por fim, a seção 6 apresenta as considerações finais e trabalhos em andamentos.

2. Trabalho Relacionados

Os trabalhos relacionados foram identificados de maneira *ad hoc*, utilizando busca direta nas bases Google Scholar utilizando “*string* de busca”. Karpenko et al (2024) 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.

O trabalho de Ponraj et al (2022) apresentam uma solução inovadora para a detecção, sem fio e sem chip, da localização do tubo de intubação endotraqueal durante a intubação. O trabalho realizado pelos autores é voltado para área da robótica, área que a IoT se destaca. Os experimentos realizados (com alguns humanos) demonstram a viabilidade da solução, que pode ser integrada a sistemas de controle robótico para automatizar o processo de intubação.

A análise trabalhos identificados sugerem existir uma lacuna na integração de IoT com *videolaringoscopia* para fins de treinamento médico. Enquanto as soluções atuais focam em diagnóstico automatizado (Karpenko et al., 2024) ou aplicações robóticas (Ponraj et al., 2022), este projeto se distingue ao propor um sistema de software IoT de baixo custo (até R\$ 195,00 por videolaringoscópio manufaturado e montado)

¹ Neste trabalho, “baixo custo” refere-se a um valor acessível que torna o instrumento viável para um público mais amplo.

desenvolvido para o treinamento de intubação, combinando transmissão de vídeo, coleta de dados sensoriais e experiência assistiva em tempo real. Esta abordagem oferece três avanços principais: (1) redução de custo em relação a sistemas com funcionalidades similares; (2) integração inédita de telemonitoramento em *videolaringoscópios* para treinamento; e (3) capacidade de *feedback* durante procedimentos simulados, característica incomum em soluções neste nível de investimento.

3. Proposta do *Videolaringoscópio* Assistivo na IoT

A proposta de solução consiste na construção de um *videolaringoscópio* assistivo IoT de baixo custo para, em primeiro momento, ser utilizado no treinamento e ensino de profissionais de saúde. Para a concepção do *videolaringoscópio* IoT assistivo, foi necessário identificar alguns requisitos, como (i) fornecer um vídeo em tempo de uso, (ii) exibir os dados da força exercida ao profissional da saúde, (iii) exibir os dados de toque nos dentes ao profissional da saúde. Além disso, a solução integra um sensor de força, sensor de toque dentário, iluminação com LED e uma câmera acoplada para fornecer resposta em tempo de uso sobre o procedimento de intubação (Souza et al. 2024).

O videolaringoscópio tem seu corpo construído em impressora 3D. Seu hardware é baseado em uma placa ESP32-CAM, que processa os dados dos sensores e transmite o vídeo capturado, criando sua própria rede Wi-Fi (rede IEEE 802.11 – camada de rede), possibilitando a conexão com um aplicativo móvel ou navegador sem a necessidade de uma rede externa. Os sensores (camada de percepção) utilizados são um sensor FSR (*Force Sensing Resistor*) e um interruptor. O FSR fornece dados relativos à força sendo aplicada na garganta do paciente, enquanto o interruptor captura se o *videolaringoscópio* está em contato com os dentes. O software (camada de aplicação) embarcado na placa realiza a leitura dessas informações de forma recorrente e as envia para o aplicativo utilizando SSE (*Server Sent Events*), que trata as informações e exibe gráficos e alertas sobre a força aplicada e o toque nos dentes, além da transmissão ao vivo do procedimento. A Figura 1 apresenta o *videolaringoscópio* impresso em 3D. Como a solução pode ser acessada por qualquer dispositivo móvel ou computador, ela garante flexibilidade e acessibilidade no treinamento de estudantes e profissionais da saúde, promovendo uma prática mais segura e eficiente.

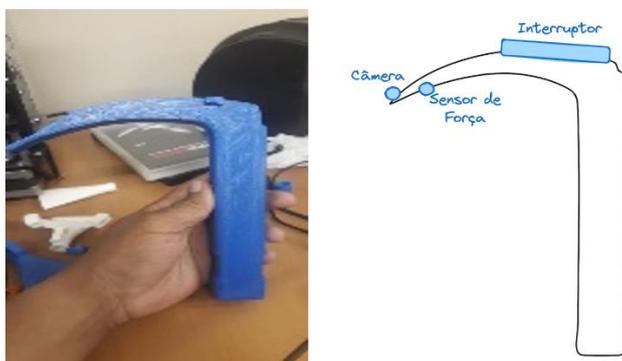


Figura 1. Laringoscópio 3D.

4. Avaliação Preliminar do Sistema de Software

Para avaliação do sistema de software, testes funcionais e de desempenho foram conduzidos a fim de responder a principal QP, com o objetivo de verificar se o

videolaringoscópio assistivo atendia aos requisitos especificados e se a aplicação possui um desempenho adequado. Para realizar os testes, três cenários foram descritos:

- **CT1: Transmissão Estável:** O sistema transmite o vídeo e os dados dos sensores em tempo real, com o usuário dispondo de uma conexão de rede estável em todo o processo. Espera-se que o vídeo seja transmitido de forma contínua, sem ou atrasos perceptíveis, e que a resposta dos sensores seja exibida sem interrupções.
- **CT2: Rede Instável:** O usuário está em uma situação de conexão de rede instável, resultante de fatores como uma distância excessiva entre o dispositivo móvel e a placa ESP32, que atua como origem da rede. Espera-se que o vídeo apresente interrupções e que os dados dos sensores tenham latência elevada ou quedas temporárias, afetando a exibição contínua e precisa dos dados.
- **CT3: Perda Temporária de Conexão:** O usuário estabelece inicialmente uma conexão com o sistema, porém esta é interrompida por uma ação inesperada, como a ativação do modo avião no dispositivo móvel. Posteriormente, o dispositivo móvel se reconecta à rede dedicada do sistema. Espera-se que o vídeo e os dados dos sensores sejam temporariamente interrompidos, mas, ao reconectar-se, a transmissão seja retomada com sucesso e ambos possam ser visualizados e exibidos sem interrupções.

Os testes de desempenho focaram na análise técnica da transmissão de vídeo e na entrega dos dados dos sensores. Foram utilizadas ferramentas como *FFmpeg*² e *Wireshark*³ para execução dos testes. Vale ressaltar que as avaliações realizadas até o presente momento, concentrou-se nos aspectos técnicos (software) do sistema, como a estabilidade da transmissão de vídeo, a frequência de envio dos dados dos sensores e a capacidade de lidar com diferentes cenários de rede.

5. Resultados Parciais e Discussão

5.1. Resultados

As avaliações indicaram que o sistema de software apresentou um desempenho estável e dentro das expectativas. No cenário CT1, o sistema operou sem interrupções, e os dados dos sensores foram atualizados com um *delay* imperceptível, indicando uma execução eficaz da aplicação. No CT2, em condições de rede instável, a transmissão de vídeo foi mais impactada do que os dados dos sensores, o que pode ser explicado pela diferença no volume e na frequência de envio das informações. Por fim, no CT3, a aplicação demonstrou resiliência, retomando o funcionamento normal assim que o usuário se reconecta à rede do dispositivo, sem atrasos perceptíveis na transmissão dos dados. A análise da transmissão de vídeo confirmou a estabilidade do sistema, com uma taxa de 25 FPS (*frames per seconds*) mantida ao longo do teste, demonstrado na Figura 2a.

O sistema apresentou um desempenho adequado em relação a estabilidade de rede e envio da transmissão dos *frames* capturados pela câmera. Além disso, os *frames* mantiveram uma resolução uniforme, o que reforça a previsibilidade e confiabilidade da

² FFmpeg é uma biblioteca e ferramenta de linha de comando de código aberto usada para processamento, conversão e transmissão de arquivos multimídia, suportando diversos formatos de áudio e vídeo.

³ Wireshark é um analisador de pacotes de rede de código aberto que permite a captura e inspeção detalhada do tráfego de rede em tempo real, sendo amplamente utilizado para diagnóstico e segurança.

transmissão, uma vez que o protocolo MJPEG, utilizado na solução, não aplica compressão parcial ou otimizações dinâmicas na qualidade dos *frames* enviados. A consistência da resolução e dos *frames* fortalece a usabilidade do sistema em tempo de utilização, assegurando uma boa experiência ao usuário. A Figura 2b apresenta o intervalo de tempo (em segundos) entre pacotes transmitidos e contendo os dados coletados pelos sensores, a partir da captura do tráfego da rede com o *Wireshark*.



Figura 2: (a) FPS x Tempo. (b) Métricas do Intervalo de Tempo entre pacotes

5.2. Discussão

A estabilidade na transmissão de dados dos sensores se mostrou um ponto positivo na análise dos resultados. O tempo médio entre pacotes de dados foi de 0.40s, com uma mediana maior (0.41s), sugerindo uma distribuição de latências centrada e previsível. A baixa variabilidade, indicada por um desvio padrão de 0.06, confirma a confiabilidade do sistema na captura e envio das informações. Além disso, os valores de máximo (0.71s) e mínimo (0.03s) indicam que, mesmo diante de picos ocasionais de latência, o sistema manteve uma resposta consistente. O valor de P95, em 0.51s, reforça que 95% dos pacotes de dados foram entregues dentro desse intervalo, garantindo que a atualização dos sensores ocorre de maneira contínua e eficiente. Essa estabilidade é essencial para aplicações que dependem de retorno em tempo de utilização, como o treinamento assistido de laringoscopia, em que atrasos na resposta podem comprometer a experiência do usuário. O sistema demonstrou não somente um desempenho técnico adequado, mas também a capacidade de operar de forma confiável em diferentes condições de uso. A priorização da transmissão de vídeo e a estabilidade na comunicação dos sensores contribuem para uma experiência fluida e de baixa latência.

Dessa forma, as avaliações iniciais reforçam que o videolaringoscópio assistivo pode se tornar uma ferramenta promissora para o ensino e prática da laringoscopia, oferecendo resposta em tempo de utilização com um desempenho compatível com as exigências do procedimento.

6. Considerações Finais e Trabalhos em Andamentos

A concepção de um videolaringoscópio assistivo IoT de baixo custo configura-se como alternativa viável e inovadora para simulação clínica realística (Souza et al., 2024). Essa solução tecnológica de baixo custo pode ser fundamental para ampliar as oportunidades de capacitação dos profissionais da saúde e reduzir possíveis complicações durante o procedimento de intubação. Os resultados iniciais demonstraram transmissão estável dos dados dos sensores em tempo de uso, com desempenho adequado para aplicações clínicas. Esses achados confirmam a viabilidade da solução, permitindo avançar nas pesquisas

sobre sua aplicação no treinamento de profissionais de saúde em procedimentos de intubação.

Assim, necessitamos seguir com a realização de mais estudos experimentais, observando os profissionais da saúde utilizarem o *videolarinoscópico* assistivo como parte de seu processo de ensino e treinamento. Para isso, pretende-se realizar avaliações com bonecos disponíveis na universidade e identificar o nível de resistência dos materiais usados no processo de impressão. Por outro lado, estão previstas evoluções para o sistema de software, como a exportação dos dados das sessões de uso para permitir análises detalhadas do desempenho dos usuários e o acompanhamento do progresso do aluno ao longo do treinamento. Adicionalmente, otimizações na transmissão de vídeo poderão permitir o compartilhamento simultâneo das imagens para múltiplos observadores.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no contexto do Edital CAPES-EPIDEMIAS (223038.014919/2020-19) e CNE FAPERJ, com apoio financeiro da CAPES, FAPERJ e CNPq. Prof. Travassos é pesquisador CNPq e CNE Faperj. Os autores agradecem e reconhecem a participação do Prof. Rafael Galliez (NEEDIER) e da Esp. Patrícia Furtado (PESC/Coppe) na elaboração deste projeto.

Referências

- Nidhi Pathak, Pallav Kumar Deb, Anandarup Mukherjee, and Sudip Misra. Iot-to-the-rescue: A survey of IoT solutions for covid-19-like pandemics. IEEE
- Kaplan, M.B., Ward, D., Hagberg, C.A. et al. (2006) Seeing is believing: the importance of video laryngoscopy in teaching and in managing the difficult airway. *Surg Endosc* 20 (Suppl 2), S479–S483.
- Hastings, R.H., Hon, E.D., Nghiem, C., & Wahrenbrock, E.A. (1996). Force and Torque Vary Between Laryngoscopists and Laryngoscope Blades. *Anesthesia & Analgesia*, 82, 462-468.
- Araujo, E., Lobo, M., & Medici, A. (2022). Eficiência e sustentabilidade do gasto público em saúde no Brasil. *Jornal Brasileiro de Economia da Saúde*, v. 14, n. Suplemento 1, p. 86-95, 2022.
- Tuckey, J., Cook, T., & Render, C. (1996). An evaluation of the levering laryngoscope. *Anaesthesia*.
- Lu, Y., Jiang, H., & Zhu, Y. (2011). Airtraq laryngoscope versus conventional Macintosh laryngoscope: a systematic review and meta-analysis. *Anaesthesia*.
- Schieren, M. *et al* (2019). Comparison of forces acting on maxillary incisors during tracheal intubation with different laryngoscopy techniques: a blinded manikin study. *Anaesthesia*, p. 1563–1571. Wiley.
- Motta, R. C., De Oliveira, K. M., & Travassos, G. H. (2018, September). On challenges in engineering IoT software systems. In *XXXII Brazilian Symposium on Software Engineering*, p. 42-51.
- Panizzon, M., Costa, C. F. da., & Medeiros, I. B. de O. (2020). 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. <https://doi.org/10.1590/0034-761220200378>
- Aoumeur, H. (2017). 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. <https://doi.org/10.24093/AWEJ/VOL8NO2.25> .
- Nhokwara, T.B., Ashipala, D.O., & Joel, M.H. (2022). Lived experiences of nursing students regarding learning in large classes and its effects on teaching and learning at the University of Namibia. *Curationis*.
- Ponraj, G., Cai, C. J., & Ren, H. (2022). Chip-Less Real-Time Wireless Sensing of Endotracheal Intubation Tubes by Printing and Mounting Conformable Antenna Tag. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 7(2), 2369-2376.
- Souza, B. P., Maia, V. C., Giron, A. L., Silva, P. F., Alcantara, T. G. R. M., Travassos, G. H. “Tecnologias Digitais para as Ações de Saúde em Emergências e Desastres” in: Alexandre Barbosa de Oliveira. (org.). *hospitais seguros e resilientes: desafios e estratégias de preparação e resposta a emergências e desastres*. 1ed.curitiba: editora crv, 2024, v., p. 355-376.