

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARCIO ALLAN DE SOUZA ALVES

**DESENVOLVIMENTO DE VIDEOLARINGOSCÓPIO
EM MANUFATURA ADITIVA PARA UTILIZAÇÃO EM AMBIENTE
PRÉ HOSPITALAR**

CURITIBA

2024

MARCIO ALLAN DE SOUZA ALVES

**DESENVOLVIMENTO DE VIDEOLARINGOSCÓPIO
EM MANUFATURA ADITIVA PARA UTILIZAÇÃO EM AMBIENTE
PRÉ HOSPITALAR**

**THE DEVELOPMENT OF VIDEO LARYNGOSCOPE VIA ADDITIVE
MANUFACTURING FOR USE IN A PRE-HOSPITAL ENVIRONMENT**

Trabalho de Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre Engenharia Biomédica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Leandra Ulbricht.

Coorientador: José Aguiomar Foggiatto

CURITIBA

2024



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

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



MARCIO ALLAN DE SOUZA ALVES

DESENVOLVIMENTO DE VIDEOLARINGOSCÓPIO EM MANUFATURA ADITIVA PARA UTILIZAÇÃO EM AMBIENTE PRÉ HOSPITALAR

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ciências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Engenharia Biomédica.

Data de aprovação: 01 de Abril de 2024

Dra. Leandra Ulbricht, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Adriana Maria Wan Stadnik, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Joao Carlos Do Amaral Lozovey, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 02/04/2024.



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

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

Dedico este trabalho à minha família, pelos
momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a minha orientadora Profa. Dra. Leandra Ulbricht pelo apoio e incentivo ao longo deste trabalho, bem como ao meu coorientador Prof. Dr. José Aguiomar Foggiatto.

Agradeço também a todos os colegas de pesquisa que contribuíram com suas ideias – o aceito caiu faz um tempo.... e discussões enriquecedoras.

Além disso, agradeço à minha família e amigos pelo constante apoio e compreensão. Suas contribuições foram fundamentais para a conclusão deste estudo.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

.

A persistência é o caminho do êxito.
(Charles Chaplin).

RESUMO

Enquanto a intubação traqueal consiste na colocação de um tubo na traqueia para ventilação, a laringoscopia é o procedimento de visualização da laringe por meios diretos ou indiretos. Nem sempre a intubação é bem-sucedida e as falhas em alcançar a patência adequada das vias aéreas ocorrem entre 0,13 e 6% dos casos, trazendo comprometimento da ventilação e da oxigenação, o que pode resultar em complicações graves como a broncoaspiração, lesões nas vias aéreas superiores, hipoxia cerebral e morte. Para reduzir estas falhas pode-se utilizar a laringoscopia indireta videoassistida ou videolaringoscopia, sendo que alguns autores a preconizam como a primeira escolha em todas as intubações e não apenas nos casos de vias aéreas difíceis. O que dificulta a implementação dessa recomendação em países em desenvolvimento é o alto custo do dispositivo. Assim, o objetivo deste estudo foi o de desenvolver um vídeo laringoscópio (VL) de baixo custo em manufatura aditiva. O VL com lâmina rígida do tipo Macintosh foi modelado no programa CAD-3D SolidWorks® e posteriormente impresso em PLA (ácido poliláctico). Foram realizados testes de carga e fadiga com a máquina de ensaios MTS 810/793. Como principais resultados em relação a ergonomia, a fixação do fio foi embutida para facilitar a pega e foi colocado um marcador para facilitar o posicionamento da câmera. Os testes de carga e fadiga mostraram o atendimento dos requisitos previstos da norma ISO 7673:2020. O primeiro quesito determina que sendo submetido a uma força de tração de 65 N, o centro de iluminação não deve se mover mais de 10 mm (a movimentação média foi de apenas 3,95mm). O segundo, quando submetido a uma força de tração de 150 N, a lâmina do laringoscópio não deve se quebrar (foi aplicada uma força de tração até 348N e a peça resistiu sem quebrar). Na sequência foram realizados testes em manequins comparando o videolaringoscópio em manufatura aditiva com o laringoscópio tradicional tipo Macintosh. Nestes, as taxas de intubações foram 100% bem-sucedidas e ocorreram todas na primeira tentativa, com um tempo médio de intubação 22,3 segundos e maximizando a distância entre a face do operador e a via aérea do paciente. Verificou-se que o videolaringoscópio tipo Macintosh em PLA apresenta potencial para tornar-se uma ferramenta de baixo custo e segura no arsenal da intubação de emergência.

Palavras-chave: intubação traqueal; laringoscopia; intubação falha; videolaringoscópio de baixo custo.

ABSTRACT

While tracheal intubation consists of placing a tube in the trachea for ventilation, laryngoscopy is the procedure for visualizing the larynx by direct or indirect means. Intubation is not always successful and failures to achieve adequate airway patency occur between 0.13 and 6% of cases, compromising ventilation and oxygenation, which can result in serious complications such as broncho aspiration, injuries in the upper airways, cerebral hypoxia, and death. To reduce these failures, video-assisted indirect laryngoscopy or videolaryngoscopy can be used, with some authors recommending it as the first choice in all intubations and not just in cases of difficult airways. What makes implementing this recommendation difficult in developing countries is the high cost of the device. Therefore, the objective of this study was to develop a low-cost video laryngoscope (VL) in additive manufacturing. The VL with a rigid Macintosh-type blade was modeled in the CAD-3D program SolidWorks® and subsequently printed in PLA (polylactic acid). Load and fatigue tests were carried out with the MTS 810/793 testing machine. As main results in terms of ergonomics, the wire attachment was built-in to facilitate gripping and a marker was placed to facilitate camera positioning. Load and fatigue tests showed compliance with the requirements of the ISO 7673:2020 standard. The first requirement determines that when subjected to a traction force of 65 N, the lighting center must not move more than 10 mm (the average movement was only 3.95 mm). Second, when subjected to a traction force of 150 N, the laryngoscope blade should not break (a traction force of up to 348 N was applied and the piece resisted without breaking). Tests were then carried out on mannequins comparing the additive manufacturing videolaryngoscope with the traditional Macintosh-type laryngoscope, intubation rates were 100% successful and all occurred on the first attempt, with an average intubation time of 22.3 seconds and maximizing the distance between the operator's face and the patient's airway. It was found that the Macintosh-type PLA videolaryngoscope has the potential to become a low-cost and safe tool in the emergency intubation arsenal.

Keywords: tracheal intubation; laryngoscopy; failed intubation; low cost video laryngoscope

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Componentes do videolaringoscópio 3D.....	20
Figura 2 - Modelo desenvolvido no programa de CAD 3D SolidWorks®	21
Figura 3 - Protótipos em PLA.....	23
Quadro 1 - Especificações e Parâmetros de Impressão.....	21
Quadro 2- Propriedades do filamento de PLA Basic (3D Fila)	23
Figura 4 - Manequim de intubação Laerdal®.	25
Figura 5 - Teste com manequim de intubação em ambulância.....	26
Figura 6 - Detalhe do posicionador	28
Figura 7 - Protótipo submetido ao teste de carga	29
Figura 8 - Intubação com L comum (A) Intubação com VL 3D (B).....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LEDs	diodos emissores de luz
PLA	ácido polilático
STL	Estereolitografia
SEB	Simpósio de Engenharia Biomédica
SUS	Sistema Único de Saúde
UTIs	Unidades de Terapia Intensiva
VL	Videolaringoscópio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	15
1.2	Hipótese	17
1.3	Objetivos	18
1.3.1	Objetivo geral	18
1.3.2	Objetivos específicos	18
1.4	Estrutura da dissertação	18
2	METODOLOGIA	20
2.1	Desenvolvimento do Protótipo	20
2.2	Testagem dos Protótipos	24
2.2.1	Testes de carga e fadiga	24
2.2.2	Testes em manequim de intubação	24
3.	RESULTADOS ADICIONAIS	28
4.	CONCLUSÃO	30
	REFERÊNCIAS	32
	APÊNDICE A - Artigo 01	36
	APÊNDICE B - Link para impressão do Dispositivo	38

1 INTRODUÇÃO

A laringoscopia e a intubação traqueal são os pilares no manejo das vias aéreas. Enquanto a intubação traqueal consiste na colocação de um tubo na traqueia para ventilação, a laringoscopia é o procedimento de visualização da laringe por meios diretos ou indiretos (COX; TEBBETT, 2022; HANSEL et al., 2022).

Em cada contexto onde se faz necessário assegurar a segurança das vias aéreas, a intubação traqueal é recomendada como prática clínica (DISMA et al., 2021; HANSEL et al., 2022). Assim, ela se caracteriza como um método crucial para salvar vidas, com o objetivo de melhorar a oxigenação e garantir uma ventilação eficaz, sendo aplicável a indivíduos de todas as idades (LINGAPPAN et al., 2023; MACKINNON; MCCOY, 2023). Tal procedimento pode ser efetuado tanto em ambientes pré-hospitalares (frequentemente devido a acidentes ou paradas cardíacas), quanto em instituições médicas, onde se evidencia sua utilização em pacientes que irão passar por procedimentos cirúrgicos sob anestesia geral e naqueles enfrentando quadros severos de insuficiência respiratória, condição que obteve destaque durante a recente pandemia de COVID-19 (CATTIN et al., 2023; COOK et al., 2020; DOWNEY; DUGGAN; ADAM LAW, 2021).

Quando a laringoscopia é realizada de forma direta, um laringoscópio é introduzido pela boca do paciente e a lâmina do dispositivo é usada para retrair a língua e tecidos macios no assoalho da boca para fornecer uma linha de visão direta entre o olho do intubador e a glote. Manobras adicionais, como flexão da coluna cervical inferior, extensão da coluna cervical superior e manipulação laríngea externa, podem ser necessárias para alinhar os eixos oral, faríngeo e laríngeo. Uma vez obtida uma visão adequada da glote, o indivíduo é intubado com um tubo traqueal com balonete para proteger as vias aéreas (HANSEL et al., 2022; PREKKER et al., 2023). Na técnica de laringoscopia indireta, o uso de uma câmera integrada à lâmina do laringoscópio altera a perspectiva visual do operador, deslocando-a do extremo distal para uma posição intermediária na lâmina. Isso elimina a necessidade de uma linha de visão direta para visualizar a glote, pois a imagem capturada é exibida e processada em um monitor. (HANSEL et al., 2022; PREKKER et al., 2023)

O insucesso na intubação chamado de Intubação falha (cenário onde a colocação do tubo traqueal não é alcançada após várias tentativas) é observado em aproximadamente 0,13 a 6% dos procedimentos (LAW et al., 2021). Tal ocorrência

compromete significativamente a ventilação e a oxigenação, podendo levar a consequências severas, incluindo aspiração pulmonar, danos às vias aéreas superiores, com fraturas de dentes e ossos da mandíbula e maxila , além lesão cerebral, parada cardiorrespiratória e, em casos extremos, o óbito (APFELBAUM et al., 2022; HANSEL et al., 2022; PREKKER et al., 2023).

Para reduzir esse risco pode-se utilizar a laringoscopia indireta videoassistida ou vídeo laringoscopia (DE JONG et al., 2022; MATEHUALA-MORÁN et al., 2022), que tem um impacto direto no manejo das vias aéreas, com numerosos estudos demonstrando sua utilidade no manejo clínico de vias aéreas anatomicamente difíceis (APFELBAUM et al., 2022; HANSEL et al., 2022; MALHOTRA, 2016). O videolaringoscópio pode fornecer uma visão laríngea e glótica aprimorada, uma maior taxa de sucesso de intubação em pacientes com via aérea difícil conhecida ou prevista e uma incidência reduzida de trauma laríngeo/via aérea em comparação com a laringoscopia direta (APFELBAUM et al., 2022; FONTERNEL et al., 2023; HANSEL et al., 2022).

A principal barreira para a acessibilidade dessa tecnologia, especialmente em ambulâncias e unidades de pronto atendimento em nações em desenvolvimento, reside no custo elevado desses dispositivos (AHMAD SABRY; ABOUGHAZY, 2020; GUERRA-HERNÁNDEZ et al., 2020; QAZI E. ALI, N S NISANTH, SYED H. AMIR, 2023). Estes custam no Brasil em torno de R\$ 20.000,00 – 30.000,00 (vinte a trinta mil reais) o que representaria cerca de 3.700,00 – 5.600,00 dólares (três mil e setecentos a cinco mil e seiscentos dólares).

Assim, alternativas aos videolaringoscópios tradicionais têm sido propostas, como no caso da substituição da lâmpada da lâmina do laringoscópio por uma câmera (AHMAD SABRY; ABOUGHAZY, 2020; QAZI E. ALI, N S NISANTH, SYED H. AMIR, 2023; URIBE et al., 2019) ou substituição do visor do videolaringoscópio pelo visor do smartphone (BASTARDO MILANO; MONSALVE; ESCALONA, 2019; GUERRA-HERNÁNDEZ et al., 2020).

Embora seja possível encontrar em plataformas online projetos de videolaringoscópios impressos em 3D, sendo que alguns possuem código aberto para impressão livre (HUYSAMEN et al, 2020; LAMBERT; JOHN; JOHN, 2020; MATEHUALA-MORÁN et al., 2022), muitos deles não fornecem informações detalhadas sobre os parâmetros de fabricação ou instruções de uso adequadas, o que

pode acarretar o risco de falha ou de quebra durante a realização do procedimento de intubação.

Desta forma, o objetivo deste estudo é desenvolver um videolaringoscópio de baixo custo em manufatura aditiva, com seus parâmetros de segurança devidamente testados.

1.1 Justificativa

O gerenciamento das vias aéreas é frequentemente complexo e pode ser uma fonte de morbidade e mortalidade do paciente (CHRIMES et al., 2022; HANSEL et al., 2022; NARRA et al., 2022).

A intubação falha (situação na qual não se consegue inserir o tubo traqueal após três tentativas por um profissional experiente) é uma situação catastrófica tanto para o paciente quanto a equipe que faz o atendimento (HANSEL et al., 2022; JAYARAJ et al., 2022; LAW et al., 2021). Podendo ocorrer tanto nas intubações eletivas (0,006 – 0,4 %) quanto nas intubações de emergência, onde é mais prevalente (0-6%) (HANSEL et al., 2022; LAW et al., 2021; SCHNITTKER; MARSHALL; BERECKI-GISOLF, 2020).

A intubação traqueal eletiva é um procedimento realizado rotineiramente nas salas cirúrgicas e visa proteger as vias aéreas bem como o fornecer os gases anestésicos de uma forma segura nas cirurgias realizadas sob anestesia geral (HANSEL et al., 2022). Um tubo traqueal corretamente posicionado deve permitir a ventilação pulmonar controlada e evitar a aspiração do conteúdo gástrico para os pulmões.(DISMA et al., 2021; HANSEL et al., 2022; HOSSFELD et al., 2021).

Nos Estados Unidos são realizadas anualmente 51 milhões de cirurgias, sendo que em 30% deste montante (15 milhões de cirurgias) está incluída a inserção de um tubo traqueal (DURBIN; BELL; SHILLING, 2014; TURNER et al., 2020). No Reino Unido, são realizadas 11 milhões de cirurgias anualmente com três milhões de anestésias (ABBOTT et al., 2017). No Brasil, no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS), são realizadas anualmente 4,1 milhões de cirurgias (COVRE et al., 2019),

porém não se tem o número de intubações realizadas ou uma estimativa do número de cirurgias realizadas na rede privada.

Nas intubações eletivas, protocolos e novos dispositivos proporcionaram uma redução significativa tanto no número de complicações como de óbitos (JAYARAJ et al., 2022). O desenvolvimento de protocolos específicos para o manejo da Via aérea difícil (APFELBAUM et al., 2022; HIGGS et al., 2018; KLEIN et al., 2021; MUSHAMBI; ATHANASSOGLU; KINSELLA, 2020) ou seja, protocolos para aquela via aérea com patologias ou características anatômicas que possam dificultar a intubação são constantemente atualizados e diferentes testes preditivos, prévios ao procedimento, foram implementados para evitar a intubação falha (JAYARAJ et al., 2022; NARRA et al., 2022). Neste mesmo contexto, a utilização de novos dispositivos, principalmente o videolaringoscópio (BAKER; O'SULLIVAN; AZIZ, 2022; SAKLES et al., 2020), passou a ser preconizada para todas as intubações (HANSEL et al., 2022; LAW et al., 2021) e não apenas para os casos comprovados de via aérea difícil, como anteriormente (PERKINS et al., 2022; VARGAS et al., 2021).

As intubações de emergência, que são aquelas realizadas nas Unidades de Terapia Intensiva (UTIS), salas de Emergências ou no atendimento Pré-hospitalar permanecem com índices mais elevados tanto de complicações como de mortalidade, quando comparadas às intubações eletivas (HOSSFELD et al., 2021; PERKINS et al., 2022; RUSSOTTO et al., 2021). Isso ocorre porque não existe tempo hábil para uma pesquisa de preditores que indiquem uma possível intubação difícil, de tal sorte que o encontro de via aérea difícil é mais frequente e conseqüentemente a intubação falha se torna mais comum (BRAITHWAITE et al., 2022; MACKE et al., 2020; MOSIER et al., 2020).

Nos Estados Unidos, são realizadas 950.000 intubações de emergência anualmente, sendo 600.000 mil em UTIs e 350.000 nas salas dos prontos-socorros (MOSIER et al., 2020; TURNER et al., 2020).

Dentre as intubações de emergência, aquelas realizadas no ambiente pré-hospitalar são consideradas como as mais complexas e o manejo das vias aéreas é considerado desafiador (BROWN et al., 2020b; HOSSFELD et al., 2021; LAW et al., 2021), pois os pacientes já se apresentam fisiologicamente comprometidos devido ao trauma ou doença, o histórico médico é desconhecido pelo prestador dos cuidados de emergência, a posição do paciente na cena muitas vezes impede o acesso ideal às

vias aéreas, além do que, estas frequentemente apresentam obstruções faríngeas por vômitos, sangue, corpo estranho ou mesmo trauma facial (AMARO et al., 2019; HANSEL et al., 2022; HOSSFELD et al., 2021).

O C-MAC (*Karl Storz Endoscopy*), o primeiro vídeolaringoscópio do tipo Macintosh, desenvolvido em 1999, foi modificado várias vezes (XUE et al., 2017a) e hoje, pelas inúmeras vantagens o uso da vídeolaringoscopia está consolidada por uma série de razões: a) Visualização laríngea melhorada sem a necessidade de alinhar três vias aéreas (BROWN et al., 2020a; CHRIMES et al., 2022; COX; TEBBETT, 2022; VARGAS et al., 2021); b) Toda a equipe pode ver a laringoscopia, facilitando a manipulação dos dispositivos das vias aéreas e o processo de intubação no monitor, em vez de apenas no intubador (BAKER; O'SULLIVAN; AZIZ, 2022; CHRIMES et al., 2022; COX; TEBBETT, 2022; MOSIER et al., 2020); c) Este recurso de visualização pode facilitar a comunicação e coesão da equipe, melhorar a coordenação entre intubador e assistente, além de que, a visão compartilhada pode ser útil para o ensino da intubação traqueal e para gravações médico legais da intubação (CHRIMES et al., 2022; LINGAPPAN et al., 2023; PERKINS et al., 2022); d) Permite que o operador mantenha uma distância maior entre si e as vias aéreas do paciente, o que foi muito útil devido a medidas de prevenção de infecções durante a pandemia de covid-19 (COOK et al., 2020; COX; TEBBETT, 2022).

Contudo, o alto custo dos vídeolaringoscópios, principalmente em países em desenvolvimento, leva a necessidade de se encontrar alternativas para assegurar a presença deste equipamento, principalmente nas situações de intubações de emergência, onde estatisticamente ocorrem a maioria das intubações falhas e consequentemente maior morbidade e mortalidade.

1.2 Hipótese

Considerando o tempo para intubação e o número de tentativas, o Laringoscópio em Manufatura Aditiva seria uma ferramenta útil no arsenal para a intubação traqueal de emergência.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver um vídeo laringoscópio de baixo custo em manufatura aditiva.

1.3.2 Objetivos específicos

- Testar em laboratório os pontos de maior tensão em protótipos do vídeo laringoscópio;
- Desenvolver um projeto de vídeo laringoscópio que atenda as normas técnicas;
- Avaliar o vídeo laringoscópio desenvolvido em situações de simulação quanto ao seu uso.

1.4 Estrutura da dissertação

O presente estudo está dividido em quatro capítulos. No primeiro deles, é apresentada a introdução, justificativa, objetivos e estrutura deste trabalho que se refere a uma defesa por artigo.

O segundo capítulo contém a metodologia adotada mostrando o desenvolvimento do protótipo e a testagem do mesmo em laboratório (testes de carga e fadiga) e em manequim de intubação.

No terceiro capítulo são apresentados os resultados adicionais, que se referem ao teste em manequim de intubação.

O quarto capítulo apresenta as conclusões, seguida das referências e os apêndices. O apêndice 01 apresenta o resumo (conteúdo de acesso aberto) do artigo publicado. Este foi intitulado: *The development of video laryngoscope via additive*

manufacturing for use in a pre-hospital environment e foi publicado na revista *Research on Biomedical Engineering* em dezembro de 2023. Neste artigo, apresenta-se o desenvolvimento do videolaringoscópio em manufatura aditiva e as modificações implementadas após os testes realizados em simulações para verificação do atendimento dos requisitos técnicos para a confecção de laringoscópios conforme versa a norma ISO 7376/2020. E o apêndice 02 apresenta o link de acesso para livre impressão em 3D do dispositivo.

2 METODOLOGIA

Este estudo quanto aos objetivos é classificado como descritivo e quanto a abordagem, como quantitativo.

Foi desenvolvido um protótipo de videolaringoscópio impresso em Manufatura Aditiva, que associado a um boroscópio e a um smartphone realiza as mesmas funções de um videolaringoscópio tradicional.

Este protótipo foi submetido a duas baterias de testes: o primeiro, em laboratório, para verificar a resistência do material (ALVES et al., 2023); e o segundo, em manequim de intubação, para verificar a usabilidade e equivalência de tempo de intubação.

2.1 Desenvolvimento do Protótipo

Neste trabalho, como modelo para o videolaringoscópio em manufatura aditiva (Figura 1), utilizou-se o videolaringoscópio com lâmina rígida do tipo Macintosh, visto que o usuário final estaria familiarizado com este formato da lâmina, que é a mesma dos laringoscópios tradicionais (PIEPHO et al., 2015; XUE et al., 2017b).

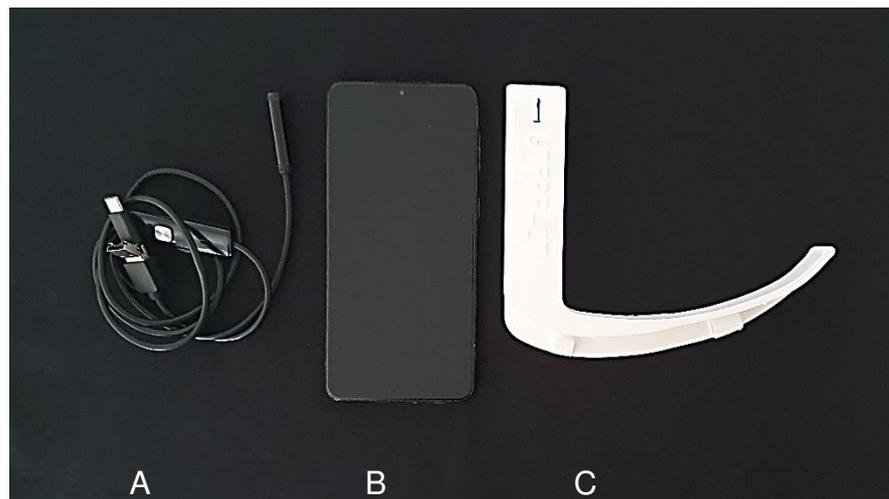
Figura 1: Modelo desenvolvido no programa de CAD 3D SolidWorks®



Fonte: (ALVES et al., 2023)

A figura 2 apresenta os três componentes principais do videolaringoscópio desenvolvido. O módulo de vídeo ou boroscópio é o primeiro componente (A), sendo constituído por endoscópios de baixo custo compatíveis com smartphones. Este é composto por uma câmara de vídeo com foco automático, rodeada por LEDs (para fornecer a iluminação necessária), e possui a Certificação IP67 que indica resistência à água (imersão de até um metro por um tempo máximo de 30 minutos). Essa certificação é importante porque permite a correta higienização, como a lavagem com água e sabão, e posterior desinfecção com álcool ou desinfetantes químicos especialmente comercializados para produtos médico hospitalares (LAMBERT; JOHN; JOHN, 2020).

Figura 2: Componentes do videolaringoscópio 3D: A: Boroscópio, B: Smartphone, C: Cabo impresso em manufatura aditiva



Fonte: (ALVES et al., 2023)

O boroscópio não apenas permite a visualização em tempo real da imagem, mas também a captura de imagens estáticas ou em vídeo. Essas imagens podem ser utilizadas tanto para propósitos educacionais (na formação de estudantes ou na atualização dos profissionais que já atuam na área), quanto para registro em prontuário médico (AHMAD SABRY; ABOUGHAZY, 2020). No contexto deste trabalho, foi empregado o Boroscópio HD CÂMERA, equipado com seis LEDs e um cabo de 1 metro com conexão micro USB para smartphones Android. A câmara está posicionada a uma distância de 40 mm da ponta do videolaringoscópio e se alinha

com o posicionador da lâmina (especialmente incluído no projeto desenvolvido para este fim), apresentando uma resolução de 1270 × 720 pixels.

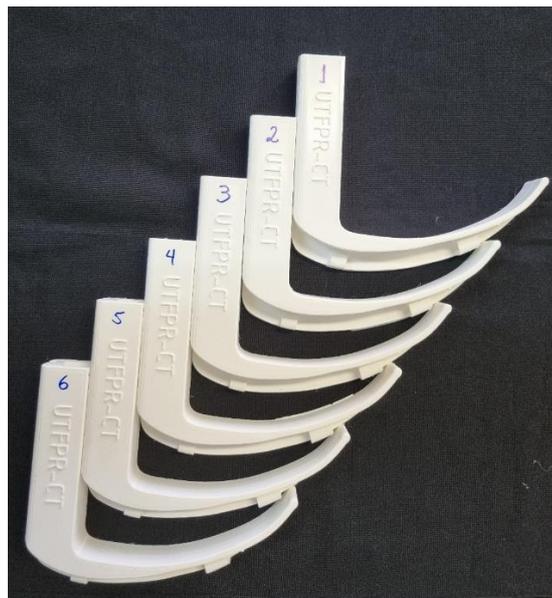
A visualização das imagens é realizada pelo smartphone com o aplicativo móvel (app) chamado AN98 (disponível gratuitamente na Google Play Store) devidamente instalado (componente B).

O videolaringoscópio impresso em 3D é terceiro e último componente (C). Seu projeto teve origem no modelo disponível no site airangel.com. Neste modelo, foi disponibilizado um videolaringoscópio com lâmina hiper angulada de tamanho 04, compatível com uma câmera de 7 milímetros, no formato STL (estereolitografia).

A partir dessa concepção inicial, utilizou-se o software CAD 3D SolidWorks® para desenvolver o protótipo atual. A lâmina hiper angulada foi modificada para o formato Macintosh, que é menos angulada e não necessita de guia para introduzir o tubo traqueal, além de ser semelhante ao laringoscópio que é comumente utilizado em serviços de emergência extra- hospitalares no estado do Paraná. A opção por este tipo de formato visa também reduzir a curva de aprendizado.

Para facilitar a manipulação, foi projetado um cabo mais fino e longo, com um sulco profundo e estreito para uma fixação adequada do fio do boroscópio e o posicionamento correto da câmera. Por fim, foi incluído o nome da instituição.

Figura 3: Protótipos Criados em PLA



Fonte: (ALVES et al., 2023)

O dispositivo desenvolvido foi fabricado utilizando resina de Polylactic Acid (PLA 3D Fila) com um preenchimento de 100%. Optou-se pelo filamento de PLA devido à sua ampla utilização na impressão de produtos médicos, seus parâmetros serem bem conhecidos, possuir um custo acessível e pela facilidade de impressão (DEY; YODO, 2019; LAMBERT; JOHN; JOHN, 2020; SANTANA et al., 2018).

Em seguida, foram produzidos seis protótipos utilizando a impressora Ender 5 Pro da Creality, todos a partir do mesmo rolo de filamento (Figura 3). Os parâmetros de impressão utilizados estão detalhados no quadro 1, enquanto as propriedades do PLA são descritas no quadro 2.

Quadro 1: Especificações e Parâmetros utilizados na Impressão

Especificações	
Diâmetro	1,75mm
Densidade	1,08 g/cm ³
Parâmetros de Impressão	
Temperatura do bico	195-230°C
Temperatura da mesa	60°C
Temperatura da impressão	200°C
Velocidade de impressão	60 mm/s
Altura das camadas	0,28 mm
Perímetro Geral – 3 camadas	0,8 mm
Perímetro na base e no topo 3 camadas	1,2 mm
Distância de retração	6,5 mm
Percentual de preenchimento	100%
Tempo de impressão	10 horas
Peso final da peça	126 g

Fonte: tradução nossa (ALVES et al., 2023)

Quadro 2: Propriedades do filamento de PLA Basic (3D Fila)

Propriedades PLA Basic 3D Fila	
Densidade	1,24 g/cm ³
Temperatura de Fusão	190 °C
Resistência a Flexão	130 MPa
Módulo de Elasticidade	4350 MPa
Transição Vítreia	60°C
Resultados dos Ensaios de Tração com corpo de prova impresso 3D (ASTM D 638)	
Alongamento	3,70%
Módulo de Elasticidade	1848,5 MPa
Tensão de Escoamento	24,8 MPa
Tensão de Ruptura	46 MPa
Resultados dos Ensaios de Dureza com corpo de prova impresso 3D (ASTM D 2240)	
Dureza Shore	85 Shore D
Resultados dos Ensaios HTD – ISSO 75 com corpo de prova impresso 3D	
Temperatura HDT	56,20°C

Fonte: tradução nossa 3D Fila (2023)

2.2 Testagem dos Protótipos

2.2.1 Testes de carga e fadiga

Devido ao processo de impressão em camadas, os materiais impressos em 3D não são isotrópicos, o que significa que a resistência real do protótipo pode variar em relação às simulações em computador (HUYSAMEN et al., 2020).

Assim, com o objetivo de se obter valores mais precisos, os protótipos foram submetidos a testes de carga e fadiga utilizando a máquina de ensaios MTS 810/793, conforme os parâmetros estabelecidos na Norma ISO 7376:2020 para a fabricação de laringoscópios (7376/2020, 2020). Essa norma estipula que: a) quando submetido a uma força de tração de 65 N, o deslocamento do centro de iluminação não deve exceder 10 mm; e b) quando submetida a uma força de tração de 150 N, a lâmina do laringoscópio não deve se quebrar (7376/2020, 2020).

2.2.2 Testes em manequim de intubação

A segunda etapa de testes foi a intubação realizada em manequim de via aérea normal (Figura 4), onde foi utilizado o *Airway Management Trainer*[®] (Laerdal Brand, Nova York, NY, EUA) e verificou-se a usabilidade do dispositivo bem como o de tempo de intubação. Este modelo é composto por uma cabeça com mandíbula articulada que permite a abertura da boca e a introdução de uma lâmina de laringoscópio. O interior da cavidade oral reproduz a anatomia da faringe, laringe e traquéia. Há uma conexão com dois balões infláveis que simulam a insuflação pulmonar ao receber um volume de gás. A região cervical do manequim também é articulada e permite o posicionamento em flexão ou extensão do pescoço. Este estudo está de acordo com as diretrizes do *Airway Device Evaluation Project Team* (ADEPT), que sugerem que a evidência de manequim deve existir antes que um novo dispositivo seja testado para equivalência em humanos (PANDIT et al., 2011)

Figura 4: Manequim de intubação Laerdal®



Fonte : Laerdal® (2023)

Desta etapa de testes participaram 10 voluntários, após a aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CAAE: 53762821.0.0000.5547, parecer consubstanciado número 5.161.908). Os critérios de inclusão foram: Médicos que trabalhassem no Siate do município de Curitiba, que estivessem vacinados contra a COVID-19 e tivessem celular com acesso à internet.

Todos os participantes possuem experiência em intubação por laringoscopia direta (mais de 100 intubações), não possuíam experiência em intubação com laringoscopia indireta (videolaringoscopia) e participaram de simulações anteriores em cursos de manejo de vias aéreas com manequins de intubação.

Nestes testes foram comparados o laringoscópio tradicional disponibilizado para os serviços de emergência (SIATE) e o protótipo desenvolvido. Como critérios de avaliação foi verificado:

- a) a taxa de intubações bem-sucedidas do videolaringoscópio em manufatura aditiva com a do laringoscópio tradicional;
- b) se a intubação bem-sucedida ocorreu ou não na primeira tentativa;
- c) o tempo médio de intubação com cada dispositivo;
- d) se ocorreu falha na intubação, ou seja, a impossibilidade de obter sucesso na intubação após três tentativas de 90 segundos cada;
- e) a nota aferida pelo usuário quanto a facilidade de uso do videolaringoscópio em 3D quando comparado ao laringoscópio tradicional.

Precedendo aos testes, todos os participantes receberam instruções sobre os procedimentos a serem realizados e sobre a utilização do videolaringoscópio 3D e suas funções, bem como tiveram um período para familiarização com o manequim simulador.

A intubação bem-sucedida foi definida como a capacidade de obter-se a intubação traqueal em até 90 segundos, sendo esta demonstrada pela insuflação dos pulmões do manequim com um ressuscitador manual.

O tempo de intubação foi definido como o tempo total decorrido desde segurar o cabo do laringoscópio até a confirmação da posição do tubo traqueal pela insuflação dos pulmões do manequim.

Para minimizar os efeitos do tempo e da fadiga, todas as sessões ocorreram durante o horário de expediente. As intubações traqueais foram realizadas com um tubo traqueal número 7, sem fio guia e em ambos os dispositivos foi utilizado a lâmina tamanho 4. O balonete foi lubrificado com spray de silicone e inflado e desinflado com seringa de 10 ml.

A coleta de dados foi realizada dentro da ambulância do Siate Curitiba (Figura 5), simulando a intubação extra-hospitalar

Figura 5: Teste com manequim de intubação



Fonte: Autoria própria (2023)

Todos os participantes realizaram ensaios com cada um dos dispositivos, tendo duração máxima de até 90 segundos para realizar a intubação traqueal. Ao término

da simulação, os participantes avaliaram a facilidade de uso dos videolaringoscópio 3D usando notas de um a dez em uma pesquisa anônima via Google Forms.

3. RESULTADOS ADICIONAIS

Foram realizados testes em manequim de intubação para verificar como seria a utilização do equipamento em situações de simulação quanto ao seu uso.

A idade média dos dez participantes foi de 43,4 anos (intervalo de 35 a 58 anos), com uma média de experiência no serviço de emergência SIATE Curitiba de 12,9 anos (intervalo de 2 a 15 anos). Ou seja, eram todos médicos bastante experientes e acostumados com o laringoscópio disponibilizado pelo serviço.

As taxas de intubações foram 100% bem-sucedidas tanto com videolaringoscópio em manufatura aditiva como com o laringoscópio tradicional e ocorreram todas na primeira tentativa.

O tempo médio de intubação foi de 22,3 segundos (12,3 a 40,2 segundos) no videolaringoscópio em manufatura aditiva com lâmina 04 e 19,6 segundos (10,8 a 26,5 segundos) no laringoscópio Macintosh padrão do serviço, também com lâmina 04. Ou seja, a novatecnologia pode ser rapidamente absorvida uma vez que gerou um tempo de adaptação médio de somente 3,7 segundos em médicos bastante experientes. Abrindo ainda, uma possibilidade de avaliação quanto a sua performance junto a estudantes e profissionais recém-formados (ainda inexperientes).

Não ocorreram intubações falha visto que todas as intubações foram bem-sucedidas.

Foi realçado pela maioria, como um fator altamente positivo, a distância maior existente entre a face do intubador ea cavidade oral do paciente durante a intubação com o VL, quando comparada com a distância do laringoscópio normal (Figura 08). Este maior distanciamento diminui consideravelmente o risco de contaminação por doença respiratória infectocontagiosa e melhora a segurança dos trabalhadores nos serviços de emergências pré-hospitalares.

Figura 8: Intubação com laringoscópio comum (A). Intubação com videolaringoscópio 3D (B)



A

B

Fonte: Autoria própria (2023)

Dos voluntários, 90% concordaram que o videolaringoscópio em manufatura aditiva facilitou a intubação e afirmaram que o videolaringoscópio em 3D desempenhou a mesma função do laringoscópio tradicional Macintosh, conferindo uma nota média de 8,5 ao dispositivo.

Quando questionados se utilizariam rotineiramente o novo dispositivo, a maioria informou, que embora o videolaringoscópio 3D tenha demonstrado ser equivalente ao laringoscópio em termos de tempo de intubação, muitos ainda preferem o uso do laringoscópio tradicional devido a familiaridade com o dispositivo convencional. Além disso, alguns profissionais valorizam a simplicidade de operação (por exemplo, não ter que instalar um aplicativo no celular).

Outro fator a ser considerado é a disponibilidade imediata do laringoscópio tradicional em todas as instituições de saúde, enquanto o videolaringoscópio 3D pode não estar amplamente disponível ou acessível em todas as circunstâncias.

4. CONCLUSÃO

Neste estudo foi desenvolvido um videolaringoscópio de baixo custo em manufatura aditiva que atendeu aos requisitos previstos da norma ISO 7673:2020 quanto a fabricação de laringoscópios.

Nos testes de carga e fadiga realizados em laboratório, ao ser aplicada uma carga de 65 N na ponta da lâmina, houve um deslocamento médio de 3,95 mm. Esse deslocamento foi inferior aos 10 mm deslocamento máximo permitido pela Norma. Quanto ao teste de tração, foi aplicada uma carga de até 348 N e não ocorreu ruptura (a norma exige a submissão a força de tração de 150 N).

Quanto ao custo de fabricação, considerando-se que todos os métodos do serviço possuíam um aparelho celular, os protótipos foram produzidos com um custo de \$11,22 (Onze dólares e vinte e dois centavos), girando em torno de R\$ 60,00 (Sessenta reais) a depender a cotação. Esse é um baixo valor, mesmo para países em desenvolvimento, o que torna este videolaringoscópio em manufatura aditiva uma opção acessível mesmo para as unidades com poucos recursos como ambulâncias e Prontos Socorros.

Quanto aos testes em manequim de simulações, as taxas de intubações foram 100% bem-sucedidas tanto com o videolaringoscópio em manufatura aditiva, como com o laringoscópio tradicional e ocorreram todas na primeira tentativa (não ocorrendo intubações falhas).

O tempo médio de intubação foi de 22,3 segundos (12,3 a 40,2 segundos) no videolaringoscópio em manufatura aditiva e 19,6 segundos (10,8 a 26,5 segundos) no laringoscópio Macintosh padrão do serviço. Ou seja, a nova tecnologia pode ser rapidamente absorvida uma vez que gerou um tempo de adaptação médio de somente 3,7 segundos.

Dos voluntários, 90% concordaram que o videolaringoscópio em manufatura aditiva facilitou a intubação e afirmaram que o videolaringoscópio em 3D desempenhou a mesma função do laringoscópio tradicional Macintosh, conferindo uma nota média de 8,5 ao dispositivo.

Foi realçado pela maioria, como um fator altamente positivo, a maior distância existente entre a face do intubador e a cavidade oral do paciente durante a intubação com o VL quando comparada com a distância do laringoscópio normal. Este maior

distanciamento diminui consideravelmente o risco de contaminação por doença respiratória infectocontagiosa e melhora a segurança dos trabalhadores nos serviços de emergências pré-hospitalares.

Desta forma, apresenta-se o videolaringoscópio tipo Macintosh em PLA como uma ferramenta, segura e de baixo custo, com potencial para ser adotada pelo arsenal da intubação de emergência em adultos.

Sugere-se como trabalhos futuros o teste deste equipamento com estudantes de medicina e com profissionais recém-formados em medicina de emergência. Sugere-se também que o mesmo seja testado sem a prévia utilização do laringoscópio.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, T. E. F. et al. Frequency of surgical treatment and related hospital procedures in the UK: A national ecological study using hospital episode statistics. **British Journal of Anaesthesia**, v. 119, n. 2, p. 249–257, 2017.
- AHMAD SABRY, M. .; ABOUGHAZY, A. The use of USB endoscope (borescope) to guide nasal tracheal intubation: a pilot study. **Research and Opinion in Anesthesia and Intensive Care**, v. 7, n. 1, p. 65, 2020.
- ALVES, M. A. et al. The development of video laryngoscope via additive manufacturing for use in a pre-hospital environment. **Research on Biomedical Engineering**, 1 jan. 2023.
- AMARO, S. et al. Via Aérea Difícil em Emergência Pré-Hospitalar: Realidade Portuguesa. **Revista da Sociedade Portuguesa de Anestesiologia**, v. 28, n. 3, p. 167–173, 2019.
- APFELBAUM, J. L. et al. 2022 American Society of Anesthesiologists Practice Guidelines for Management of the Difficult Airway. **Anesthesiology**, v. 136, n. 1, p. 31–81, 2022.
- BAKER, P. A.; O’SULLIVAN, E. P.; AZIZ, M. F. Unrecognised oesophageal intubation: time for action. **British Journal of Anaesthesia**, v. 129, n. 6, p. 836–840, 2022.
- BASTARDO MILANO, E. J.; MONSALVE, P.; ESCALONA, G. Mobile laparoscopy: use of the smartphone as a tool in the operating room. **Gastroenterology & Hepatology: Open Access**, v. 10, n. 5, p. 272–277, 2019.
- BRAITHWAITE, S. et al. Prehospital Trauma Airway Management: An NAEMSP Position Statement and Resource Document. **Prehospital Emergency Care**, v. 26, n. S1, p. 64–71, 2022.
- BROWN, C. A. et al. Video Laryngoscopy Compared to Augmented Direct Laryngoscopy in Adult Emergency Department Tracheal Intubations: A National Emergency Airway Registry (NEAR) Study. **Academic Emergency Medicine**, v. 27, n. 2, p. 100–108, 2020a.
- BROWN, C. V. R. et al. Western Trauma Association critical decisions in trauma: Airway management in adult trauma patients. **Trauma Surgery and Acute Care Open**, v. 5, n. 1, 2020b.
- CATTIN, L. et al. Airways management in SARS-COV-2 acute respiratory failure: A prospective observational multi-center study. **Medicina Intensiva**, v. 47, n. 3, p. 131–139, 2023.
- CHRIMES, N. et al. Preventing unrecognised oesophageal intubation: a consensus guideline from the Project for Universal Management of Airways and international airway societies*. **Anaesthesia**, v. 77, n. 12, p. 1395–1415, 2022.

COOK, T. M. et al. Consensus guidelines for managing the airway in patients with COVID-19: Guidelines from the Difficult Airway Society, the Association of Anaesthetists the Intensive Care Society, the Faculty of Intensive Care Medicine and the Royal College of Anaesthetist. **Anaesthesia**, v. 75, n. 6, p. 785–799, 2020.

COVRE, E. R. et al. Trend of hospitalizations and mortality from surgical causes in Brazil, 2008 to 2016. **Revista do Colegio Brasileiro de Cirurgias**, v. 46, n. 1, p. 1–11, 2019.

COX, L.; TEBBETT, A. Videolaryngoscopy versus direct laryngoscopy for endotracheal intubation of cardiac arrest patients in hospital: A systematic literature review. **Resuscitation Plus**, v. 11, n. August, p. 100297, 2022.

DE JONG, A. et al. Videolaryngoscopy as a first-intention technique for tracheal intubation in unselected surgical patients: a before and after observational study. **British Journal of Anaesthesia**, v. 129, n. 4, p. 624–634, 2022.

DISMA, N. et al. Difficult tracheal intubation in neonates and infants. NEonate and Children audit of Anaesthesia pRactice IN Europe (NECTARINE): a prospective European multicentre observational study. **British Journal of Anaesthesia**, v. 126, n. 6, p. 1173–1181, 2021.

DOWNEY, A. W.; DUGGAN, L. V.; ADAM LAW, J. A systematic review of meta-analyses comparing direct laryngoscopy with videolaryngoscopy. **Canadian Journal of Anesthesia**, v. 68, n. 5, p. 706–714, 2021.

DURBIN, C. G.; BELL, C. T.; SHILLING, A. M. Elective intubation. **Respiratory Care**, v. 59, n. 6, p. 825–849, 2014.

FONTERNEL, T. et al. Evaluating the Usability of a 3D-Printed Video Laryngoscope for Tracheal Intubation of a Manikin. **Medical Devices: Evidence and Research**, v. Volume 16, n. March, p. 157–165, 2023.

GUERRA-HERNÁNDEZ, M. et al. Novel video-laryngoscope with wireless image transmission via Wi-Fi towards a smartphone. **Electronics (Switzerland)**, v. 9, n. 10, p. 1–12, 2020.

HANSEL, J. et al. Videolaryngoscopy versus direct laryngoscopy for adults undergoing tracheal intubation: a Cochrane systematic review and meta-analysis update. **British Journal of Anaesthesia**, v. 129, n. 4, p. 612–623, 2022.

HIGGS, A. et al. Guidelines for the management of tracheal intubation in critically ill adults. **British Journal of Anaesthesia**, v. 120, n. 2, p. 323–352, 2018.

HOSSFELD, B. et al. First pass success of tracheal intubation using the C-MAC PM videolaryngoscope as first-line device in prehospital cardiac arrest compared with other emergencies: An observational study. **European journal of anaesthesiology**, v. 38, n. 8, p. 806–812, 2021.

JAYARAJ, A. K. et al. Management of difficult and failed intubation in the general surgical population: a historical cohort study in a tertiary care centre. **Canadian Journal of Anesthesia**, v. 69, n. 4, p. 427–437, 2022.

KLEIN, A. A. et al. Recommendations for standards of monitoring during anaesthesia and recovery 2021: Guideline from the Association of Anaesthetists. **Anaesthesia**, v. 76, n. 9, p. 1212–1223, 2021.

LAW, J. A. et al. **Canadian Airway Focus Group updated consensus-based recommendations for management of the difficult airway: part 1. Difficult airway management encountered in an unconscious patient.** [s.l: s.n.]. v. 68

LINGAPPAN, K. et al. Videolaryngoscopy versus direct laryngoscopy for tracheal intubation in neonates. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, v. 2023, n. 5, 2023.

MACKE, C. et al. Increased first pass success with c-mac videolaryngoscopy in prehospital endotracheal intubation—a randomized controlled trial. **Journal of Clinical Medicine**, v. 9, n. 9, p. 1–9, 2020.

MACKINNON, J.; MCCOY, C. Use of video laryngoscopy versus direct laryngoscopy as a teaching tool for neonatal intubation: A systematic review. **Canadian Journal of Respiratory Therapy**, v. 59, n. April, p. 111–116, 2023.

MALHOTRA, S. Practice Guidelines for Management of the Difficult Airway. **Practice Guidelines in Anesthesia**, n. 2, p. 127–127, 2016.

MATEHUALA-MORÁN, I. et al. Design and Additive Construction of a Video-Laryngoscope for Endotracheal Intubation of Adult Patients. **Frontiers in Materials**, v. 9, n. May, p. 1–14, 2022.

MOSIER, J. M. et al. Tracheal intubation in the critically ill: Where we came from and where we should go. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 201, n. 7, p. 775–788, 2020.

MUSHAMBI, M. C.; ATHANASSOGLU, V.; KINSELLA, S. M. Anticipated difficult airway during obstetric general anaesthesia: narrative literature review and management recommendations. **Anaesthesia**, v. 75, n. 7, p. 945–961, 2020.

NARRA, L. R. et al. Obesity and the Other Independent Predictors in Elective Endotracheal Tube Intubations: A Narrative Review. **Journal of Clinical Medicine Research**, v. 14, n. 5, p. 177–187, 2022.

PANDIT, J. J. et al. The Difficult Airway Society “ADEPT” Guidance on selecting airway devices: The basis of a strategy for equipment evaluation. **Anaesthesia**, v. 66, n. 8, p. 726–737, 2011.

PERKINS, E. J. et al. The use of video laryngoscopy outside the operating room: A systematic review. **PLoS ONE**, v. 17, n. 10 October, p. 1–20, 2022.

PIEPHO, T. et al. S1-Leitlinie Atemwegsmanagement: Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI). **Anaesthesist**, v. 64, n. January, p. 27–40, 2015.

PREKKER, M. E. et al. DirEct versus VIdeo LaryngosCopE (DEVICE): protocol and statistical analysis plan for a randomised clinical trial in critically ill adults undergoing emergency tracheal intubation. **BMJ open**, v. 13, n. 1, p. e068978, 2023.

QAZI E. ALI, N S NISANTH, SYED H. AMIR, A. R. Intubation characteristics using modified USB videolaryngoscope: A prospective, randomised study. **Indian Journal of Anaesthesia**, v. 67, n. 2, p. 38–44, 2023.

RUSSOTTO, V. et al. Intubation Practices and Adverse Peri-intubation Events in Critically Ill Patients from 29 Countries. **JAMA - Journal of the American Medical Association**, v. 325, n. 12, p. 1164–1172, 2021.

SAKLES, J. C. et al. The difficult airway refocused. **British Journal of Anaesthesia**, v. 125, n. 1, p. e18–e21, 2020.

SCHNITTKER, R.; MARSHALL, S. D.; BERECKI-GISOLF, J. Patient and surgery factors associated with the incidence of failed and difficult intubation. **Anaesthesia**, v. 75, n. 6, p. 756–766, 2020.

TURNER, J. S. et al. Association of Checklist Use in Endotracheal Intubation with Clinically Important Outcomes: A Systematic Review and Meta-analysis. **JAMA Network Open**, v. 3, n. 7, p. 1–12, 2020.

URIBE, V. F. et al. Borescope Vs Laryngoscope in Difficult Airway Management by Non-Expert Personnel : A Non- Randomized Pilot Study in a Simulated Environment. **JSM Clin Anesthesiol**, p. 1–5, 2019.

VARGAS, M. et al. Video vs. direct laryngoscopy for adult surgical and intensive care unit patients requiring tracheal intubation: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **European Review for Medical and Pharmacological Sciences**, v. 25, n. 24, p. 7734–7749, 2021.

XUE, F. S. et al. Current evidence for the use of C-MAC videolaryngoscope in adult airway management: A review of the literature. **Therapeutics and Clinical Risk Management**, v. 13, p. 831–841, 2017b.

APÊNDICE A - Artigo Publicado

Alves, M.A., Foggiatto, J.A., Berti, L.F. *et al.* The development of video laryngoscope via additive manufacturing for use in a pre-hospital environment. *Res. Biomed. Eng.* (2023). <https://doi.org/10.1007/s42600-023-00326-3>.

[Home](#) > [Research on Biomedical Engineering](#) > [Article](#)

The development of video laryngoscope via additive manufacturing for use in a pre-hospital environment

Original Article | Published: 01 December 2023

(2023) [Cite this article](#)



[Research on Biomedical Engineering](#)

[Aims and scope](#) →

[Submit manuscript](#) →

Abstract

Purpose

Due to failures that occur during intubation, some authors advocate that intubation should always be done with a video laryngoscope. What makes the implementation of this recommendation difficult, especially in developing countries, is the high price of the device. Thus, the objective of this study is to present a low-cost video laryngoscope developed via additive manufacturing, being the first device to have the safety parameters duly tested according to the ISO 7673:2020 standard.

Methods

A video laryngoscope with a Macintosh-type rigid blade was developed. After modeling it in the CAD-3D SolidWorks® program, the prototype was printed in PLA (polylactic acid), and load and fatigue tests were carried out with the MTS 810/793 testing machine.

Results

The main results were an improvement in ergonomics (with a better fixation of the camera wire and camera positioning). Load and fatigue tests showed compliance with the requirements of the ISO 7673:2020 standard. The first is that when subjected to a traction force of 65 N, the center of illumination must not move more than 10 mm (the average movement was only 3.95 mm). The second is that when subjected to a traction force of 150 N, the laryngoscope blade must not break (348 N of load was applied and the piece resisted without breaking).

Conclusion

It was shown that the Macintosh-type PLA video laryngoscope has the potential to become a safe and low-cost tool in the emergency intubation arsenal.

 This is a preview of subscription content, [log in via an institution](#)  to check access.

APÊNDICE B - Link para impressão do Dispositivo

https://drive.google.com/file/d/15PL6QsP3_wOrQoLEpQ6-IJzLA5mvo4W/view?usp=sharing