

**UNIVERSIDADE BRASIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA
CAMPUS ITAQUERA**

BRUNO PINHEIRO FALCÃO

**DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE TREINAMENTO PARA CIRURGIA
MINIMAMENTE INVASIVA TORÁCICA NEONATAL**

DEVELOPMENT OF A TRAINING MODEL FOR MINIMALLY INVASIVE
NEONATAL THORACIC SURGERY

São Paulo – SP
2022

BRUNO PINHEIRO FALCÃO

**DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE TREINAMENTO PARA CIRURGIA
MINIMAMENTE INVASIVA TORÁCICA NEONATAL**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Brasil, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Engenharia Biomédica.

Orientador: Prof. Dr. Mardoqueu Martins da Costa

São Paulo – SP
2022

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Brasil,
com os dados fornecidos pelo (a) autor (a).

F163d Falcão, Bruno Pinheiro
Desenvolvimento de modelo de treinamento para cirurgia minimamente invasiva torácica neonatal / Bruno Pinheiro Falcão. -- São Paulo: Universidade Brasil, 2022.
79 f. : il. ; 29,5cm.

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Brasil, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Engenharia Biomédica.
Orientador: Prof. Dr. Mardoqueu Martins da Costa

1. Cirurgia minimamente invasiva. 2. Toracoscopia. 3. Simulação.
4. Atresia de esôfago. 5. Hérnia diafragmática congênita. I Título.

CDD 617.54



TERMO DE APROVAÇÃO

BRUNO PINHEIRO FALCÃO

“DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE TREINAMENTO PARA CIRURGIA MINIMAMENTE INVASIVA TORÁCICA NEONATAL”

Tese aprovada como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica** da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:

Prof(a). Dr(a) Mardoqueu Martins da Costa (presidente-orientador)

Prof(a). Dr(a) Thiago Domingues Stocco (UNIVERSIDADE BRASIL)

Prof(a). Dr(a) Luis Gustavo Sabino (UNIVERSIDADE BRASIL)

Prof(a). Dr(a). Camila Girardi Fachin (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO)

Prof(a). Dr(a). Marcelo Marcondes Stegani (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

São Paulo, 12 de dezembro de 2022.

Presidente da Banca Prof.(a) Dr.(a) Mardoqueu Martins da Costa

Houve alteração do Título: sim () não (X):



Termo de Autorização

Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página WWW do Respetivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da CAPES

Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site <http://www.universidadebrasil.edu.br>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

Título do Trabalho: **“DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE TREINAMENTO PARA CIRURGIA MINIMAMENTE INVASIVA TORÁCICA NEONATAL”.**

Autor(es):

Discente: **Bruno Pinheiro Falcão**

Assinatura: _____

Orientador(a): **Prof.(a) Dr.(a) Mardoqueu Martins da Costa**

Assinatura: _____

Coorientador(a): **Prof.(a) Dr.(a)**

Assinatura: _____

Houve alteração do Título: sim () não (X):

Data: 12/12/2022

AGRADECIMENTOS

À Deus, autor, redentor e sustentador da minha vida. Minha esposa, meu filho, família, pais, irmãs, irmãos em Cristo, cunhados, amigos, professores, meu orientador, colegas e pacientes, a todos que me apoiaram, fortaleceram e incentivaram de algum modo à conclusão desse projeto.

*“Tudo quanto te vier à mão para fazer, faze-o conforme as tuas forças,
porque no além, para onde tu vais, não há obra, nem projetos, nem conhecimento,
nem sabedoria alguma.”*

(Eclesiastes 9:10 – ARA – BÍBLIA SAGRADA)

RESUMO

O reparo toracoscópico da atresia esofágica (AE) e da hérnia diafragmática congênita (HDC) é um grande desafio, devido ao pequeno espaço de trabalho e à delicadeza dos tecidos envolvidos. Os simuladores são uma excelente ferramenta para os residentes e cirurgiões pediátricos iniciantes desenvolverem habilidades essenciais à toracoscopia neonatal antes de atuarem em casos reais. Entretanto, existe uma lacuna no mercado de protótipos, em especial para o treinamento de malformações como a AE e a HDC. O objetivo deste trabalho foi produzir um modelo totalmente sintético, de média fidelidade e baixo custo, para o desenvolvimento de habilidades em AE e HDC. Nos testes iniciais comparou-se a lesão tecidual provocada pela sutura simples em um balão de látex, um modelo de silicone e uma placa de borracha de silicone (BS). Em seguida, em três tipos de BS: azul, verde e branca. Para compor o arcabouço externo utilizou-se uma boneca de plástico, com fâcias de um bebê de 3 kg. O arcabouço torácico interno foi composto de coluna torácica, arcabouço costal interno, aorta, veia cava e traqueia, formados a partir de eletrodutos corrugados e balões cilíndricos coloridos. Foram confeccionadas doze “portas de entrada” no hemitórax esquerdo do simulador. Para a aquisição das imagens e iluminação interna, utilizou-se uma microcâmara cilíndrica de 4 mm de diâmetro, com transmissão da imagem para celular e notebook. Na última etapa de testes, três grupos de cirurgiões foram avaliados quanto ao tempo e conforme uma escala de habilidades (OSATS) na realização de uma tarefa. Além de responderem um formulário do tipo *Likert* acerca do modelo experimentado. Na fase inicial de testes, demonstrou-se que a BS apresentou resultado superior ao silicone e não houve diferença entre os tipos de BS. Para o modelo esofágico, uma placa retangular de BS foi dobrada em seu maior eixo e, para o diafragma artificial, foi produzido um defeito de 2x1 cm. Na terceira etapa de testes, os residentes em cirurgia pediátrica apresentaram tempo superior e índice OSATS inferior, próximos aos cirurgiões pediátricos com nível intermediário. Os cirurgiões experientes apresentaram tempo inferior e índice OSATS superior aos demais. As respostas da escala *Likert* evidenciaram a excelente aceitação dos modelos propostos. Foi desenvolvido um modelo totalmente sintético, de média fidelidade, acessível financeiramente e que permite o treinamento de residentes e cirurgiões pediátricos no tratamento cirúrgico da AE e da HDC.

Palavras-chave: Cirurgia Minimamente Invasiva; Toracoscopia; Simulação; Atresia de esôfago; Hérnia diafragmática congênita.

ABSTRACT

Thoracoscopic repair of esophageal atresia (EA) and congenital diaphragmatic hernia (CDH) is a major challenge, due to the small working space and the delicacy of the tissues involved. The simulators are an excellent tool for fellows and novice pediatric surgeons to develop essential neonatal thoracoscopy skills before acting in real cases. However, there is a gap in the prototype market, especially for training malformations such as EA and CDH. The objective of this work was to produce a fully synthetic model, with medium fidelity and low cost, for the development of EA and CDH skills. In the initial tests, tissue damage caused by simple suturing in a latex balloon, a silicone model and a silicone rubber plate (SR) were compared. Then into three types of SR: blue, green and white. To compose the external framework, a plastic doll was used, with the facies of a 3 kg baby. The internal thoracic framework was composed of the thoracic spine, internal costal framework, aorta, vena cava and trachea, formed from corrugated conduits and colored cylindrical balloons. Twelve "entrance ports" were made in the left hemithorax of the simulator. For the acquisition of images and internal lighting, a cylindrical microcamera of 4 mm in diameter was used, with image transmission to cell phones and notebooks. In the last stage of tests, three groups of surgeons were evaluated in terms of time and according to a scale of skills (OSATS) in performing a task. In addition to answering a Likert-type form about the model tried. In the initial testing phase, it was demonstrated that SR had a better result than silicone and there was no difference between the types of SR. For the esophageal model, a rectangular SR plate was bent along its longest axis and, for the artificial diaphragm, a 2x1 cm defect was produced. In the third stage of tests, fellows in pediatric surgery had a longer time and a lower OSATS index, close to pediatric surgeons with an intermediate level. Experienced surgeons had lower time and higher OSATS index than the others. The Likert scale responses showed the excellent acceptance of the proposed models. A fully synthetic, medium-fidelity, financially accessible model was developed that allows the training of fellows and pediatric surgeons in the surgical treatment of EA and CDH.

Keywords: Minimally Invasive Surgery; Thoracoscopy; Simulation; Esophageal atresia; Congenital diaphragmatic hernia.

DIVULGAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO

Foi desenvolvida uma caixa de simulação, para treinamento de jovens cirurgiões. Esse material tem o objetivo de desenvolver as habilidades dos aprendizes no tratamento de doenças raras, identificadas ao nascimento, como a atresia de esôfago e a hérnia diafragmática congênita, que consistem na ausência de um segmento desses órgãos. Para a construção desse modelo de treinamento foi utilizada uma boneca do tipo bebê. A partir de materiais de baixo custo, como madeira, compensado, eletrodutos corrugados, balões de látex e bastões de cola, foram desenvolvidos os órgãos que ficam na parte de dentro do peito do bebê. A partir de um material elástico chamado de borracha de silicone, foram produzidos os órgãos específicos para o treinamento daquelas doenças já relatadas. O treinamento se baseia, principalmente, em desenvolver a habilidade do cirurgião em manejar os instrumentos e realizar uma costura desses órgãos internos malformados, olhando apenas para a imagem obtida através de uma câmera. Essa simulação permite aprimorar as práticas cirúrgicas dos profissionais responsáveis por salvar a vida e cuidar desses bebês.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Atresia de esôfago com fístula traqueoesofágica distal. A) Representação anatômica; B) Radiografia de tórax/abdome; C) Representação do tratamento cirúrgico.....	23
Figura 2 - Hérnia Diafragmática Congênita. A) Representação anatômica da HDC à esquerda, em diferentes graus; B) Radiografia de tórax/abdome evidenciando uma HDC à direita.....	24
Figura 3 - Modelo de treinamento em coelho. A) Confecção de defeito diafragmático por laparotomia; B) Visão toracoscópica da hérnia diafragmática.....	30
Figura 4 - Protótipos sintéticos para lobectomia pulmonar. A) Esquema de circulação cardiopulmonar; B, C) Aspecto interno; D,E) Aspecto externo.....	31
Figura 5 - Modelo de treinamento laparoscópico. A) Caixa laparoscópica; B) Bandeja deslizante	32
Figura 6 - Protótipo torácico pediátrico para o treinamento em AE. A, B, C) Estrutura torácica multiperfurada em 3D; D) Treinamento toracoscópico; E) Visão toracoscópica do arcabouço esôfago-traqueal.....	33
Figura 7 - Modelo de treinamento em AE. A) Caixa torácica neonatal direita; B) Modelo de AE com fístula traqueoesofágica de silicone	34
Figura 8 - Etapas do desenvolvimento de um simulador em AE. A) Construção da caixa torácica e sua cobertura; B) Aprimoramento do modelo inicial e desenvolvimento de um modelo esofágico em camadas, com sensores de força para avaliar manipulação tecidual esofágica	35
Figura 9 - Modelo de treinamento aberto e por CMI em AE. A) Visão externa e interna no treinamento do reparo da AE por toracotomia; B) E por toracosopia	36
Figura 10 - Modelo sintético para treinamento toracoscópico em AE, com arcabouço interno fixado na cavidade torácica de simulador.....	37
Figura 11 - Modelo sintético para treinamento toracoscópico em HDC. A) Visão externa do treinamento; B, C) Visão interna do defeito e sua fixação; D) Prática de redução das alças intestinais; E) E sutura diafragmática	38
Figura 12 - Modelo de baixo custo para treinamento toracoscópico em HDC. A,B) Materiais utilizados na produção do modelo; C) Visão externa; D) Visão toracoscópica do treinamento em redução do conteúdo herniado; E) E sutura diafragmática.....	39

Figura 13 - Modelos para treinamento em AE e HDC. A) Modelo de falha diafragmática; B) Modelo de cotos esofágicos; C,D) Treinamento em caixas de laparoscopia.....	41
Figura 14 - TC de tórax com reconstrução em 3D de recém-nascido de 3 kg. A) Corte coronal; B) Corte sagital; C) Corte axial; D) Reconstrução óssea; E) Reconstrução visceral.....	43
Figura 15 - Boneca de plástico tipo baby utilizada como “caixa preta”.....	44
Figura 16 - Dimensões do hemitórax esquerdo da boneca utilizada como “caixa preta”. A) Diâmetro crânio-caudal; B) Ântero-posterior; C) Látero-lateral.....	44
Figura 17 - Abertura de boneca em transição abdominopélvica.....	45
Figura 18 - Base do arcabouço torácico interno. A,B) Placa de madeira; C,D) Placa de compensado.....	46
Figura 19 - Arcabouço torácico interno em formação. A) Visão superior da construção do arcabouço interno, com fixação progressiva da aorta; B) Traqueia; C) Veia cava; D) E cobertura da pleura visceral.....	47
Figura 20 - Arcabouço torácico interno completo em ângulos diversos.....	47
Figura 21 - Órgãos intratorácicos adjacentes ao arcabouço torácico interno. A) Externamente, pulmão; B) E coração; C,D) Visão cranial dos órgãos adjacentes no interior da caixa torácica simulada.....	48
Figura 22 - Órgãos abdominais simulados, herniados ao hemitórax esquerdo. A) Baço; B) Alças intestinais.....	49
Figura 23 - Marcação da posição dos orifícios de trabalho do simulador.....	50
Figura 24 - Mecanismo para estabilização do modelo esofágico. A) Peça de madeira cilíndrica, com um dos polos de um ímã fixado superiormente; B) O detalhe do ímã e o outro polo fixado em um canudo; C) Representação do modelo completo estabilizado.....	51
Figura 25 - Mecanismo para estabilização do modelo diafragmático. A,B) Sequência representativa da fixação do velcro no modelo, sem a BS (visão caudal); C, D) Com a BS (visão caudal); E) Visão cranial da BS estabilizada.....	52
Figura 26 - Câmera endoscópica cilíndrica com leds acoplados. A) Sem balão na ponta; B) Com balão na ponta.....	52
Figura 27 - Pinças de 3 mm para cirurgia minimamente invasiva.....	53
Figura 28 - Efeitos teciduais da sutura sobre três diferentes materiais. A) Balão de látex; B) Borracha de silicone azul; C) Silicone.....	57

Figura 29 - Efeitos teciduais da sutura sobre três diferentes BS. A) BS azul; B) BS verde; C) BS branca.....	58
Figura 30 - Modelos em BS em ângulos diversos. A) Esofágico; B) Diafragmático ..	59
Figura 31 - Representação esquemática do posicionamento durante a correção da HDC. A) No centro cirúrgico; B) Durante o treinamento com o modelo proposto.....	62
Figura 32 - Representação esquemática do posicionamento durante a correção da AE. A) No centro cirúrgico; B) Durante o treinamento com o modelo proposto	63
Figura 33 - Trocarte de plástico testado durante a elaboração do protótipo em ângulos diversos. A,B,C,D) Externamente; E) Após fixação.....	64
Figura 34 - Trocarte de BS testado durante a construção do protótipo. A,D) Visão superior e lateral externamente; B,C) Após fixação	65
Figura 35 - Visão externa e interna de treinamento em toracoscopia neonatal. A) Em AE; B) Em HDC.....	677
Figura 36 - Tempo necessário para cada cirurgião completar a tarefa, sendo: R – residentes; C – cirurgiões pediátricos; E – cirurgiões pediátricos experientes.....	70
Figura 37– Índice OSATS referente a cada cirurgião durante a tarefa, sendo: R – residentes; C – cirurgiões pediátricos; E – cirurgiões pediátricos experientes.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação da lesão tecidual provocada pela sutura em diferentes materiais	58
Tabela 2 - Custos do modelo desenvolvido.....	68
Tabela 3 - Escala do tipo Likert, referente aos modelos esofágico e diafragmático	71

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
AE	Atresia de Esôfago
BS	Borracha de Silicone
cm	Centímetros
CMI	Cirurgia Minimamente Invasiva
HDC	Hérnia Diafragmática Congênita
mm	Milímetros
mm Hg	Milímetros de Mercúrio
OSATS	Objective Structured Assessment of Technical Skills
kg	Quilogramas
TC	Tomografia Computadorizada
3D	Tridimensional

LISTA DE SÍMBOLOS

- % Por cento
- ® Marca registrada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 OBJETIVOS	21
2.1 OBJETIVO GERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3 REVISÃO DA LITERATURA	22
3.1 ATRESIA DE ESÔFAGO	22
3.2 HÉRNIA DIAFRAGMÁTICA CONGÊNITA	24
3.3 TREINAMENTO EM CMI	26
3.4 DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PARA TREINAMENTO	28
3.4.1 Modelos <i>in Vivo</i>	28
3.4.2 Modelos sintéticos	30
4 MATERIAL E MÉTODOS	42
4.1 TESTES DOS MATERIAIS DESCARTÁVEIS	42
4.2 DEFINIÇÃO DO ARCABOUÇO EXTERNO	43
4.3 CONSTRUÇÃO DO ARCABOUÇO INTERNO	45
4.4 DESENVOLVIMENTO DOS ÓRGÃOS TORÁCICOS ADJACENTES	48
4.5 ÓRGÃOS ABDOMINAIS HERNIADOS	49
4.6 CONFECÇÃO DAS PORTAS DE ENTRADA	50
4.7 MECANISMOS DE ESTABILIZAÇÃO	50
4.8 AQUISIÇÃO DE IMAGEM E ILUMINAÇÃO	52
4.9 MATERIAL EXTERNO PARA TREINAMENTO	53
4.10 TESTES PARA AVALIAÇÃO DO MODELO	54
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1 DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS DESCARTÁVEIS	56
5.2 APRESENTAÇÃO DOS MODELOS	59
5.3 CAIXA TORÁCICA	60
5.4 ÓRGÃOS ADJACENTES	61
5.5 PORTAS DE ENTRADA E POSICIONAMENTO DO CIRURGIÃO	61
5.6 MECANISMOS DE ESTABILIZAÇÃO	65
5.7 AQUISIÇÃO DE IMAGEM E ILUMINAÇÃO	66
5.8 CUSTOS DO PROTÓTIPO	67

5.9 TREINAMENTO PARA AE E HDC.....	68
5.10 CARACTERÍSTICAS DO MODELO PROPOSTO.....	69
5.11 AVALIAÇÃO DO MODELO POR PROFISSIONAIS.....	69
5.12 LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS.....	72
6 CONCLUSÃO	73
REFERÊNCIAS.....	74
ANEXO	78
ANEXO A - Escala de Habilidades OSATS	79

1 INTRODUÇÃO

A ciência tem apresentado vultoso desenvolvimento nas últimas décadas. O surgimento e aperfeiçoamento dos computadores, microchips, inteligência artificial e robótica corroboram essa evolução. Na medicina, exames de imagem de alta definição e cirurgias com incisões cada vez menores, menor trauma tecidual, menor dor pós-operatória, menor resposta metabólica ao trauma e recuperação mais rápida. E ainda assim, com visão ampliada das cavidades corporais: marcas da cirurgia minimamente invasiva (CMI) (BARROSO, 2018a; BARROSO, 2018b).

A atresia de esôfago (AE) é uma malformação congênita que se caracteriza pela ausência do segmento médio do esôfago. Em geral, durante o desenvolvimento embrionário, ocorre uma falha na divisão do broto respiratório, promovendo a separação dos cotos esofágicos e uma possível comunicação anormal entre a traqueia e os segmentos proximal e/ou distal do esôfago (LEE, 2018).

A hérnia diafragmática congênita (HDC) é uma malformação do desenvolvimento embrionário, caracterizada pelo fechamento parcial ou ausência do diafragma fetal. A presença do defeito diafragmático, mais frequente à esquerda, permite a ocupação do hemitórax acometido por órgãos abdominais. Essa invasão da cavidade torácica promove compressão do arcabouço cardiopulmonar em formação, gerando deformidades estruturais, como hipoplasia pulmonar e hipertrofia da vasculatura pulmonar, que determinam o prognóstico da doença (BAWAZIR, 2021).

Na cirurgia neonatal, dada a limitação espacial, especialmente no tórax, a CMI promove uma ampliação fundamental do campo operatório. No entanto, o reparo toracoscópico da AE e da HDC é um grande desafio, devido ao pequeno espaço de trabalho e à delicadeza dos tecidos (NAIR, 2019).

Classicamente, em cirurgias “abertas”, os residentes adquirem suas habilidades cirúrgicas na sala de cirurgia, enquanto são auxiliados ou supervisionados por um cirurgião experiente. Na CMI neonatal, entretanto, a difícil curva de aprendizado, combinada com poucos casos por ano e a seleção

dos pacientes reparados por toracoscopia, torna o número de casos muito baixo, mesmo em centros de referência (DEIE, 2017; WELLS, 2020).

Assim como os grandes acidentes aéreos, as complicações cirúrgicas maiores podem se tornar quase inexistentes devido aos avanços tecnológicos e ao extenso treinamento em simuladores. Os cirurgiões não poderão mais aprender com seus próprios erros de julgamento e complicações. Em vez disso, seu principal local para enfrentar situações difíceis e críticas será em um ambiente simulado, onde eles poderão melhorar suas respostas sem causar danos aos pacientes. Portanto, os residentes precisam desenvolver competências e habilidades avançadas, essenciais à CMI neonatal, antes de atuarem em casos reais. O treinamento em simulação certamente desempenha um papel importante nesse cenário, encurtando a atual curva de aprendizado (ŠTUPNIK, 2018).

Os protótipos de toracoscopia em adultos auxiliam no desenvolvimento de algumas habilidades necessárias, mas modelos que desenvolvam o manejo fino dos tecidos e o trabalho em pequenos espaços, mantendo estrutura no mínimo semelhante à realidade, essenciais à especialidade, ainda seguem indisponíveis ou inacessíveis. Recentemente, alguns simuladores mais realistas foram descritos, para lobectomia infantil, reparo de atresia duodenal, ligadura dos pilares e sutura do defeito diafragmático e sutura esofágica (DEIE, 2017; NAIR, 2019; TAKAZAWA, 2015).

Infelizmente, esses modelos seguem indisponíveis comercialmente, seja por um mercado pediátrico limitado, seja por desconhecimento comercial da demanda. Assim, atualmente, não existe um modelo toracoscópico para treinamento em AE e HDC comercialmente disponível, sintético, de média fidelidade e baixo custo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Produzir um modelo de treinamento em toracoscopia neonatal totalmente sintético, de média fidelidade e baixo custo, para o desenvolvimento de habilidades em doenças raras como AE e HDC.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Criar um modelo com componentes de fácil acesso.
- Elaborar um modelo com marcos anatômicos internos e externos semelhantes à realidade.
- Desenvolver um modelo adaptado ao treinamento doméstico e desassistido.
- Realizar processo inicial de validação do protótipo desenvolvido.

3 REVISÃO DA LITERATURA

O desenvolvimento da CMI, atrelado à miniaturização tecnológica dos dispositivos e materiais cirúrgicos, tem permitido a sua introdução cada vez maior em áreas antes pouco exploradas. A cirurgia neonatal ainda configura um desafio, uma vez que, apesar de já realizada de forma minimamente invasiva em grandes centros, permanece distante para a maioria dos profissionais (BARROSO, 2018b).

Uma das razões é, sem dúvida, a raridade dos procedimentos. Uma vez que, em sua maioria, as grandes cirurgias neonatais são realizadas para tratamento de malformações congênitas. E como bem sabemos, a obtenção da experiência necessita tempo de treinamento, a chamada “curva de aprendizado” (BARROSO, 2018a).

Como a CMI ainda é uma senhora de meia idade e, na neonatologia, não passa de uma adolescente, são pouquíssimos os cirurgiões pediátricos experientes no tratamento minimamente invasivo de malformações congênitas como atresia de esôfago e hérnia diafragmática congênita. Dado o número reduzido de casos, bem como um número ainda menor de indicações para tratamento toracoscópico, a principal estratégia para adquirir esse “tempo de voo” cirúrgico necessário, em neonatos, é através dos simuladores (ŠTUPNIK, 2018).

Para melhor compreensão da importância do presente projeto, destaca-se informações conceituais sobre a AE, a HDC, o treinamento em CMI e um estado da arte sobre o desenvolvimento dos modelos de simulação.

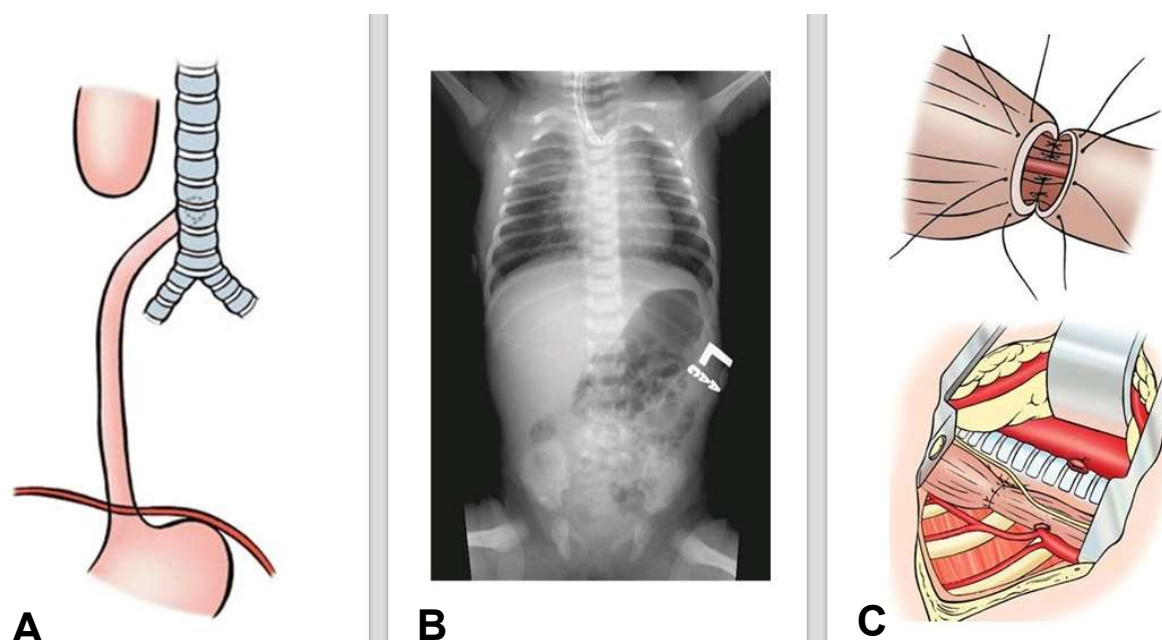
3.1 ATRESIA DE ESÔFAGO

Ainda no início da gestação, durante a quarta semana de desenvolvimento embrionário, ocorre a formação do tubo laringotraqueal, que se divide em esôfago e traqueia. A atresia de esôfago, com ou sem fístula traqueoesofágica (Figura 1), advém do brotamento ou secção incorretos desse tubo, promovendo a separação dos cotos esofágicos e uma possível

comunicação anormal entre a traqueia e os segmentos proximal e/ou distal do esôfago (LEE, 2018).

A prevalência mundial da atresia de esôfago é de 3 a cada 10.000 nascidos vivos. Pode ser detectada ainda no período gestacional, contudo, de forma geral, o diagnóstico ocorre após o nascimento. A presença de salivação aerada, cianose, tosse ou desconforto respiratório, associada à impossibilidade de passar sonda orogástrica número 10 levam a hipótese, confirmada através de uma radiografia simples de tórax/abdome (Figura 1). A presença de gás no coto esofágico proximal confirma a atresia esofágica e a presença de gás no trato gastrointestinal (abdome), confirma a presença de uma fístula traqueoesofágica distal (LAL, 2017; LEE, 2018).

Figura 1 - Atresia de esôfago com fístula traqueoesofágica distal. A) Representação anatômica; B) Radiografia de tórax/abdome; C) Representação do tratamento cirúrgico



Fonte: Holcomb *et al.* (2020).

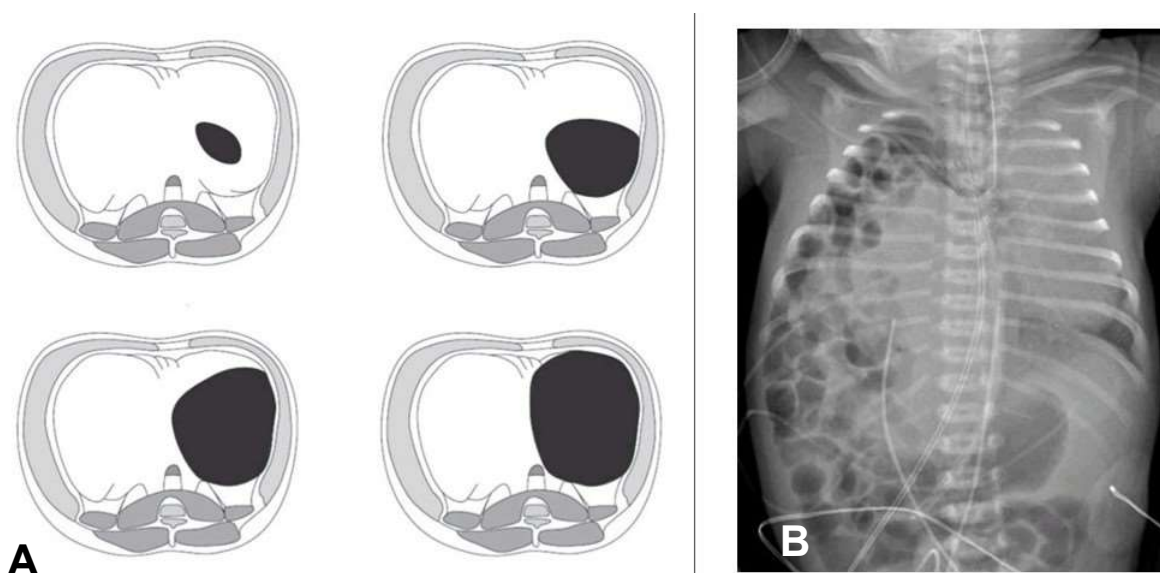
Na maioria dos casos o tratamento cirúrgico da atresia de esôfago consiste na ligadura da fístula traqueoesofágica e anastomose entre os cotos esofágicos (Figura 1). Alguns pontos seguem controversos, como o uso de sonda transanastomótica, a ligadura da veia ázigos e a drenagem torácica (DINGEMANN, 2020). Entretanto, a toracoscopia vem ganhando força, sendo

corroborada principalmente através de trabalhos que evidenciam menor tempo de internação hospitalar, menor tempo de ventilação mecânica, menor tempo de jejum pós-operatório e menor taxa de complicações musculoesqueléticas (DREVIN, 2021). No entanto, o consenso europeu é unânime, é necessária experiência para escolher essa via de acesso (DINGEMANN, 2020).

3.2 HÉRNIA DIAFRAGMÁTICA CONGÊNITA

A hérnia diafragmática congênita (HDC) é uma malformação do desenvolvimento embrionário, caracterizada pelo fechamento parcial ou ausência do diafragma fetal (Figura 2). A presença do defeito diafragmático, mais frequente à esquerda, permite a ocupação do hemitórax acometido por órgãos abdominais. Essa invasão da cavidade torácica promove compressão do arcabouço cardiopulmonar em formação, gerando deformidades estruturais, como hipoplasia pulmonar e hipertrofia da vasculatura pulmonar, que determinam o prognóstico da doença (BAWAZIR, 2021).

Figura 2 - Hérnia Diafragmática Congênita. A) Representação anatômica da HDC à esquerda, em diferentes graus; B) Radiografia de tórax/abdome evidenciando uma HDC à direita



Fonte: Holcomb *et al.* (2020).

Esse defeito congênito do diafragma tem prevalência estimada de 2,6 por 10.000 nascidos vivos, mortalidade em 24 horas de até 31% e a mortalidade

em 1 ano pode chegar a 46%. O diagnóstico precoce, ainda durante a gestação, bem como o progresso dos cuidados intensivos neonatais e suas tecnologias associadas, tem reduzido paulatinamente a mortalidade. Contudo, em face das malformações estruturais associadas, grande parte dos sobreviventes ainda necessitam de suporte médico no longo prazo (RAMAKRISHNAN, 2018).

O aperfeiçoamento da técnica cirúrgica também tem sido relacionado ao aumento da sobrevida na HDC. Classicamente, após estabilização cardiopulmonar, a falha diafragmática é fechada por laparotomia subcostal, com ou sem o auxílio de prótese. A introdução da CMI no reparo da HDC, seja por laparoscopia ou toracoscopia – particularmente esta última, trouxe conhecidas vantagens, como redução da dor pós-operatória e melhor resultado estético (BARROSO, 2018b).

Outras vantagens pós-cirúrgicas da CMI são a recuperação mais rápida, com duração reduzida da ventilação mecânica pós-operatória, hospitalização mais curta e menos morbidade, como obstruções intestinais. A abordagem toracoscópica permite maior espaço de trabalho, redução eficaz do conteúdo herniado mediada por pneumotórax, insuflação intermitente de dióxido de carbono e ampliação da visualização do campo cirúrgico. Entretanto, várias controvérsias ainda persistem, como taxas de recorrência, uso de próteses, seleção de pacientes e efeitos adversos, como hipercapnia e acidose (BARROSO, 2018a).

Segundo Usón-Casaús *et al.* (2014) e Wagner *et al.* (2020), é indubitável que resultados satisfatórios estão associados a treinamento e experiência em CMI avançada. Em geral, as habilidades para reduzir o conteúdo herniado da cavidade torácica ao abdome e proceder suturas toracoscópicas em espaço reduzido, com segurança, só serão atingidas após a “curva de aprendizado”. No entanto, amostragem recente aponta que apenas 1/4 dos profissionais atuantes na área tem 10 casos anuais de HDC e metade deles realiza menos de cinco toracoscopias por ano. Ou seja, qualquer curva de aprendizado não pode ser facilmente concluída e a aquisição das habilidades essenciais para procedimentos minimamente invasivos raros e complexos, como o reparo da HDC, deve ser baseado em simulação, com o uso de modelos animais ou sintéticos.

3.3 TREINAMENTO EM CMI

A transmissão do conhecimento cirúrgico precisa ser acompanhada do desenvolvimento de habilidades técnicas básicas pelos discentes. Após adquirir alicerce anátomo fisiológico, o aprendiz constrói suas competências através da observação e repetição. Essa estratégia de ensino funcionou bem durante a “era” das cirurgias abertas, em que as cavidades eram exploradas e a visão e o tato eram facilitadores desse processo (BOETTCHER, 2020).

Entretanto, o surgimento da CMI, mas principalmente seu desenvolvimento e introdução em áreas com volume cirúrgico reduzido e/ou espaço físico limitado, técnica cirúrgica delicada e complexa e instrumentais cirúrgicos específicos e em construção, limitou o método de aprendizado (DEIE, 2017).

Na cirurgia torácica aberta, com a supervisão de um cirurgião experiente, a abordagem tradicional de treinamento dos menos experientes sempre foi eficaz. No entanto, na cirurgia toracoscópica vídeo assistida, pela segurança dos pacientes, o aluno precisa desenvolver conhecimentos teórico-práticos básicos antes de atuar em um paciente real em ambiente de centro cirúrgico. Isso se deve a características inerentes à via de acesso, como a limitação ao uso de instrumentos simultâneos pelo professor e aprendiz – o que enreda a contenção de potenciais complicações - e a dificuldade estrutural de troca de posições da equipe cirúrgica durante o procedimento, apesar da ampliação visual (ŠTUPNIK, 2018).

As cirurgias em recém-nascidos e bebês exigem do cirurgião pediátrico precisão, delicadeza, técnica acurada em espaços reduzidos e margem de erro próxima de zero. A CMI pediátrica comunga da premissa de tais habilidades cirúrgicas especiais, em vista do tamanho e fragilidade tecidual dos pacientes pediátricos. Contudo, apesar da difusão de procedimentos minimamente invasivos pediátricos avançados, muitos centros e cirurgiões, individualmente, exibem experiência limitada no tratamento toracoscópico de malformações congênitas raras, como AE e HDC. Além dos limitadores técnicos inerentes ao neonato, o pequeno número de casos inviabiliza o treinamento clássico, focado

apenas na observação e repetição durante o ato cirúrgico (DEIE, 2017; TAKAZAWA, 2015; USÓN-CASAÚS, 2014).

O número preciso de operações necessárias para se tornar um cirurgião competente é diverso quanto às especialidades e cirurgias específicas. As habilidades vão sendo desenvolvidas e fixadas à medida do treinamento e repetição. Fundamentos da CMI, como coordenação óculo-manual, destreza manual, percepção de profundidade e interação da mão dominante e não dominante precisam ser absorvidos. A supervisão de um colega experiente, bem como a fixação em centros maiores, com número elevado de procedimentos, tende a encurtar o intervalo da curva de aprendizado (HAIDARI, 2019; ŠTUPNIK, 2018).

O processo de construção de cirurgiões endoscópicos experientes supera as longas curvas de aprendizado, pequeno número de pacientes em determinadas doenças e inabilidade na transmissão *in vivo* do conhecimento técnico-cirúrgico, com o desenvolvimento de diferentes tipos de simuladores. O treinamento das habilidades básicas em laboratórios, fora da sala de cirurgia, com ferramentas de treinamento endoscópico específicos para as especialidades, concebe profissionais hábeis, rápidos e sem adir riscos aos pacientes (DEIE, 2017; HAIDARI, 2019; ŠTUPNIK, 2018).

O treinamento simulado em CMI pode ser compreendido de forma contínua e progressiva, bem como constante e cumulativa. O cirurgião iniciante deve avançar e dominar os níveis de treinamento antes de conduzir um tratamento endoscópico pediátrico. As habilidades devem ser desenvolvidas em caixas de treinamento e aprimoradas em modelos animais. Usón-Casaús (2014, p. 283), sugere um modelo de treinamento baseado em quatro níveis: "(1) habilidades básicas e avançadas em caixas de treinamento, (2) protocolos anatômicos e habilidades avançadas em modelos animais, (3) habilidades processuais avançadas com aplicações telecirúrgicas, e (4) prática na sala de cirurgia."

Algumas estratégias são utilizadas para depreender competência ou experiência ao cirurgião. Na cirurgia toracoscópica, sugere-se um mínimo de 50 a 100 pequenos procedimentos para o estudante se familiarizar com os instrumentos cirúrgicos e habilidades básicas. A sociedade japonesa de cirurgia

pediátrica apresenta dois modelos de qualificação: o primeiro infere experiência pela realização de três ou mais correções toracoscópias de atresia esofágica. O segundo analisa o vídeo de uma fundo plicatura laparoscópica pediátrica realizada pelo examinando, sob o crivo de uma lista de 29 itens e uma folha de pontuação de erros de sutura. Tempo de conclusão da tarefa, número de manipulações da agulha, mandíbulas do instrumento abertas e fechadas sem apreender o alvo e agulha fora da visão da câmera são exemplos das variáveis analisadas (DEIE, 2017; HAIDARI, 2019).

De acordo com ŠtupniK (2018) e Haidari (2019), os protótipos de treinamento simulado atuais estão baseados em três ferramentas principais: simuladores de realidade virtual, modelos animais e modelos sintéticos. As plataformas de aprendizado virtual criam cenários que permitem ao aluno encabeçar cirurgias completas, absorver tempos e competências cirúrgicas e reduzir curva de aprendizado. Como inconveniente, pesa o alto custo e baixa disponibilidade, bem como a falta de realismo dos *softwares* disponíveis. Ainda não existem publicações de tais aparatos para treinamento em CMI neonatal. Os modelos animais proporcionam realismo acompanhado de dilemas éticos, enquanto os modelos sintéticos permitem aquisição de habilidades por repetição, em vista do seu baixo custo.

3.4 DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PARA TREINAMENTO

3.4.1 Modelos *in Vivo*

A literatura admite que, ante inúmeros obstáculos estruturais, seja relativo a doenças raras ou redução de carga horária semanal durante a formação, a perícia do cirurgião em técnicas minimamente invasivas deve passar por métodos de simulação. O desenvolvimento de modelos de treinamento *in vivo* fornece habilitação secundária, suscitando segurança e destreza, uma vez que mimetiza ambiente e situações cirúrgicas reais (USÓN-CASAÚS, 2014; BERGMEISTER, 2020).

O uso de modelos animais para simular cenários cirúrgicos realistas ainda não tem sido explorado sistematicamente. Entretanto, Bergmeister *et al.*

(2020) apontam expressivo crescimento nos últimos vinte anos, sobretudo na Europa e América do Norte. Com destaque para o treinamento de habilidades em procedimentos muito padronizados, como técnicas endoscópicas, laparoscópicas, microcirurgia e robótica.

Segundo van Velthoven (2006, p. 114): “O modelo de treinamento perfeito deve fornecer as habilidades necessárias, ser barato, universalmente disponível e anatomicamente e fisiologicamente idêntico a um paciente anestesiado.”

A maioria das simulações *in vivo* é realizada em modelos suínos (70%), com uma clara tendência a modelos animais de grande porte (75%). A escolha do animal mais adequado para cada especialidade deve avaliar o tamanho e a anatomia do espécime, para garantir a maior semelhança possível ao paciente real. Os porcos são usados para treinamento em laparoscopia digestiva e urológica, enquanto os coelhos reproduzem os neonatos (BERGMEISTER, 2020; USÓN-CASAÚS, 2014).

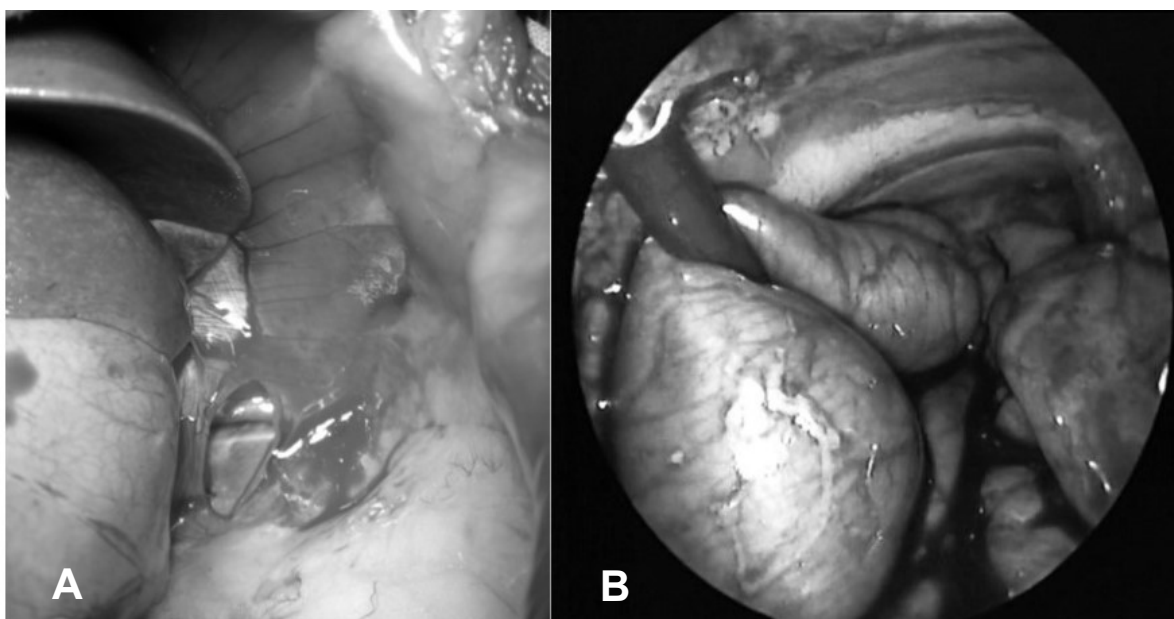
Apenas 9% dos treinamentos são realizados em coelhos. Contudo, o uso desses pequenos mamíferos como modelo de treinamento para CMI pediátrica já é bem estabelecido. Eles são relativamente baratos e tem a vantagem de oferecer mais espaço de trabalho quando comparados aos roedores. Eles simulam o espaço laparoscópico e toracoscópico do neonato e lactente e permitem testar e lapidar habilidades minimamente invasivas avançadas (BERGMEISTER, 2020; PÉREZ-MERINO, 2014; VAN VELTHOVEN, 2006).

O desenvolvimento de modelos animais específicos para doenças raras, como a AE e a HDC, que figuram os passos cirúrgicos singulares e complicações potenciais, viabilizam a aquisição da competência necessária à transição para o paciente real. Usón-Casaús *et. al.* (2014) e Pérez-Merino *et. al.* (2014) descrevem um modelo de treinamento em coelhos, em que detalham a confecção e o tratamento toracoscópico do defeito diafragmático (Figura 3).

Para indução da falha diafragmática, após minilaparotomia mediana, uma incisão de 3 cm na região costal dorsal do diafragma esquerdo cria um defeito de formato oval. Análise comparativa constatou alto realismo e mínimo estresse para os animais quando realizada 48 horas antes da correção cirúrgica. Durante a toracoscopia, após pneumotórax induzido de 2 a 4 mm Hg, os órgãos

abdominais herniados são empurrados à cavidade abdominal por duas pinças endoscópicas e o defeito diafragmático é reparado com sutura intracorpórea (PÉREZ-MERINO, 2014).

Figura 3 - Modelo de treinamento em coelho. A) Confeção de defeito diafragmático por laparotomia; B) Visão toracoscópica da hérnia diafragmática



Fonte: Pérez-Merino *et al.* (2014).

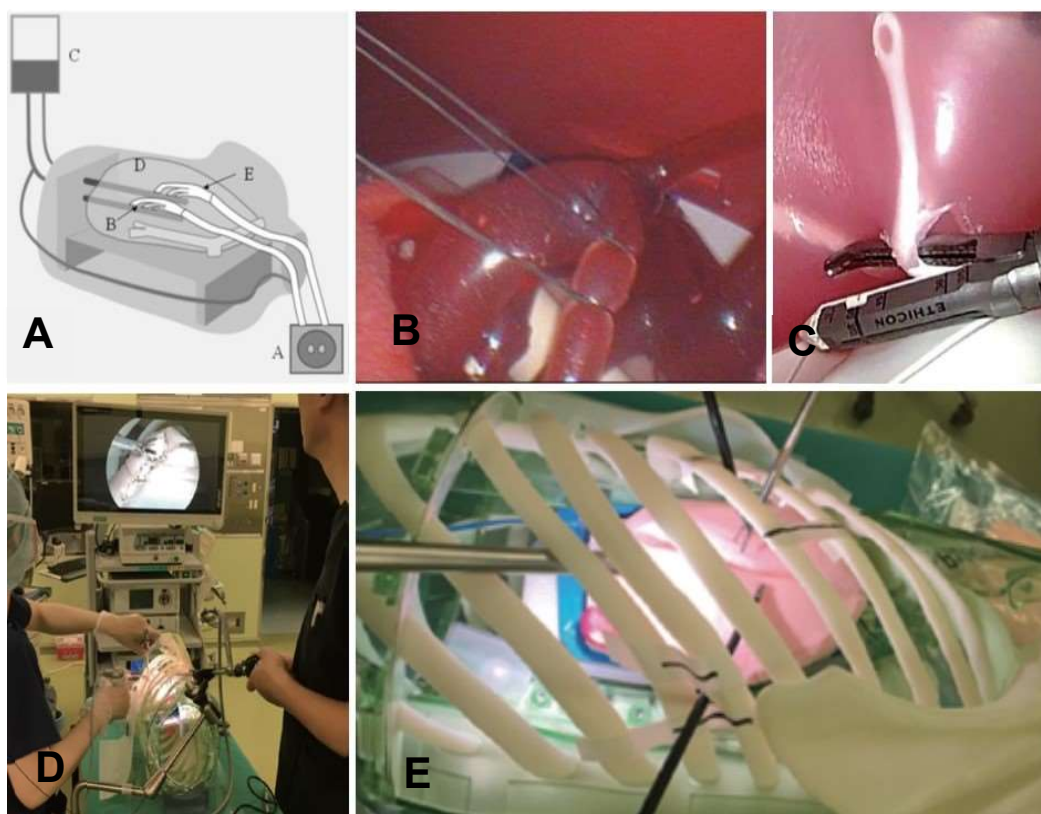
Os custos com todos os cuidados aos animais, bem como as implicações éticas de seu uso para aprimoramento técnico – sujeitas a padrões nacionais diversos - inibe o avanço do método. Entretanto, essas matérias precisam ser discutidas e otimizadas, a fim de progressivamente reduzir seu uso, substituir por modelos *ex-vivo* e refinar as amostras para maximizar o benefício educacional. E, na aba da educação e na ânsia por modelos de realidade virtual substitutos, os protótipos animais ainda fornecem desafios fisiológicos realistas únicos (PÉREZ-MERINO, 2014; BERGMEISTER, 2020).

3.4.2 Modelos sintéticos

Como previamente referido, um dos limitadores ao uso de modelos vivos é o alto custo. Os simuladores sintéticos são relativamente baratos e auxiliam na aquisição de habilidades básicas. Entretanto, alguns modelos sintéticos

modernos e realistas também corroboram a restrição financeira (Figura 4). Protótipos para treinamento de lobectomias pulmonares em adultos permitem cortar, suturar, grampear pulmões e vasos artificiais, bem como utilizar dispositivos de energia, como eletrocautério convencional e sistemas avançados como *LigaSure*® e tesouras ultrassônicas como bisturi harmônico, aproximando drasticamente à realidade, entretanto elevando exponencialmente os gastos. Existem simuladores inclusive com circulação cardiopulmonar funcionando durante o treinamento. O custo atual de uma caixa torácica semelhante à relatada pode chegar a 12.000 dólares e só o pulmão descartável, a 490 dólares (HAIDARI, 2019; IWASAKI, 2003; ŠTUPNIK, 2018).

Figura 4 - Protótipos sintéticos para lobectomia pulmonar. A) Esquema de circulação cardiopulmonar; B, C) Aspecto interno; D,E) Aspecto externo



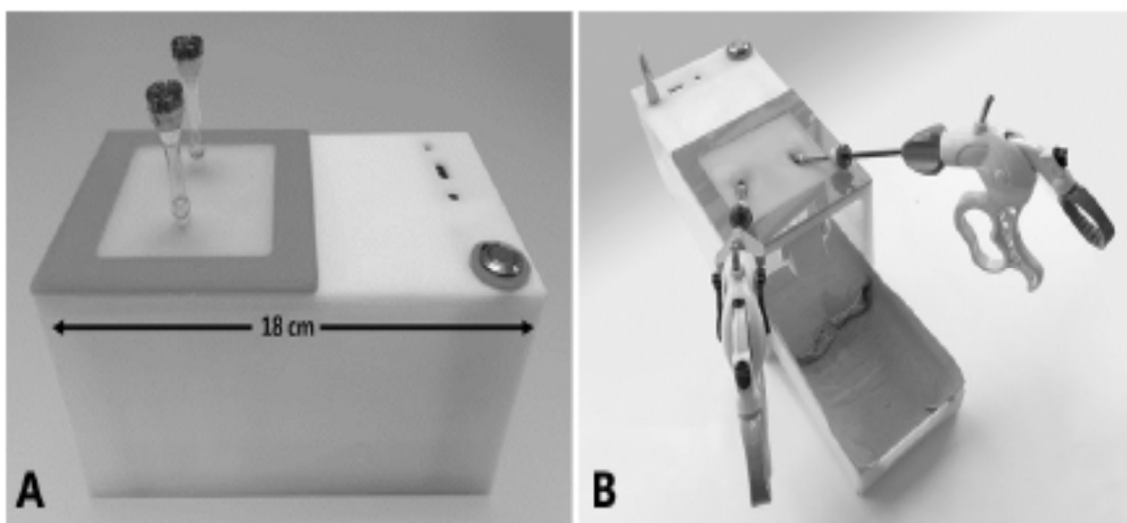
Fonte: Haidari *et al.* (2019); Iwasaki *et al.* (2003); Štupnik *et al.* (2018).

O aprimoramento das habilidades em CMI pediátrica é dependente dos modelos sintéticos de treinamento disponíveis no mercado. Os protótipos de toracoscopia em adultos auxiliam no desenvolvimento de algumas funções

básicas necessárias, mas modelos que desenvolvam o manejo fino dos tecidos e o trabalho em pequenos espaços, mantendo estrutura no mínimo semelhante à realidade, essenciais à especialidade, ainda seguem indisponíveis em larga escala. Recentemente, alguns modelos de treinamento um pouco mais realistas foram relatados, inclusive incorporando tecidos animais, para lobectomia infantil, reparo de atresia duodenal, ligadura dos pilares e sutura do defeito diafragmático e sutura esofágica. Infelizmente, esses modelos não estão disponíveis comercialmente, talvez devido a um mercado pediátrico limitado, desconhecimento comercial da demanda, bem como a incerteza de lucro. Até onde sabemos, não existe atualmente um modelo toracoscópico de AE e HDC comercialmente disponível, sintético, de alta fidelidade e baixo custo (DEIE, 2017; NAIR, 2019; TAKAZAWA, 2015).

Torres *et al.* (2021) desenvolveram um simulador do tipo caixa preta, que permite a utilização de material *ex vivo* sobre uma bandeja. Uma câmera com alta resolução permite treinamento de procedimentos mais complexos sem torre de laparoscopia, o que também torna este dispositivo portátil e de uso doméstico. A área de trabalho corresponde exclusivamente à superfície das plataformas (9 x 9 cm), que pode ser reduzida ainda mais elevando-se a bandeja. O modelo pode reproduzir operações realizadas em neonatos, contribuindo no treinamento de manuseio preciso e delicado de estruturas em espaços reduzidos (Figura 5).

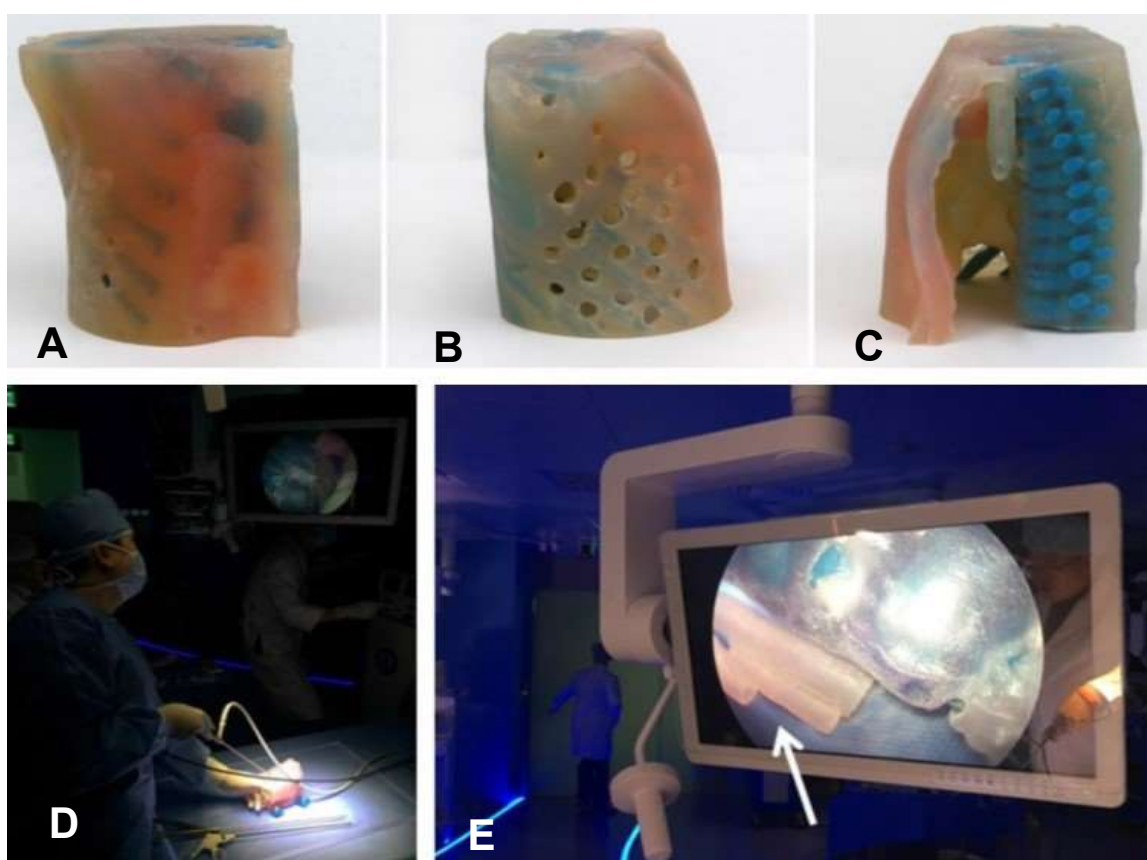
Figura 5 - Modelo de treinamento laparoscópico. A) Caixa laparoscópica; B) Bandeja deslizante



Fonte: Torres *et al.* (2021).

O desenvolvimento tecnológico das impressoras 3D (tridimensional) tem permitido a criação de modelos ou fantomas exclusivos para cada paciente. Através de imagens obtidas por tomografia computadorizada ou ressonância magnética, estruturas totalmente sintéticas são criadas para auxiliar na preparação para procedimentos complexos e até para explicar aos pacientes e responsáveis detalhes técnicos. Uma vantagem desses modelos é a possibilidade de reutilizar a estrutura para treinamento de residentes e cirurgiões menos experientes, a partir de pequenas adaptações. A semelhança com pacientes reais vai desde as características internas, como cor e tato de brônquios e vasos, até o aspecto externo das costelas, músculos e pele (Figura 6). Infelizmente tais modelos permanecem exclusivos de grandes centros, privados ou públicos com grandes receitas disponíveis (HONG, 2021).

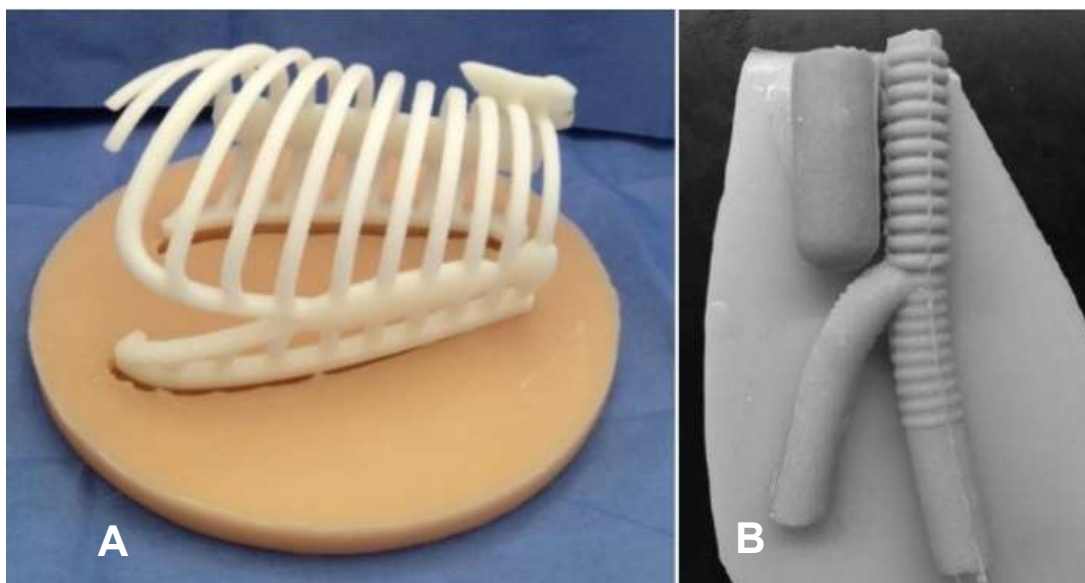
Figura 6 - Protótipo torácico pediátrico para o treinamento em AE. A, B, C) Estrutura torácica multiperfurada em 3D; D) Treinamento toracoscópico; E) Visão toracoscópica do arcabouço esôfago-traqueal



Fonte: Hong *et al.* (2021).

Visando desenvolver habilidades avançadas no tratamento minimamente invasivo da AE, com a colaboração de diversas áreas (medicina, arquitetura, engenharia e educação em simulação) foi construído um simulador torácico neonatal misto, composto por um arcabouço externo sintético (Figura 7) com a adição interna de tecido animal, completando um modelo com o alto nível de fidelidade desejado (BARSNESS, 2013).

Figura 7 - Modelo de treinamento em AE. A) Caixa torácica neonatal direita; B) Modelo de AE com fístula traqueoesofágica de silicone



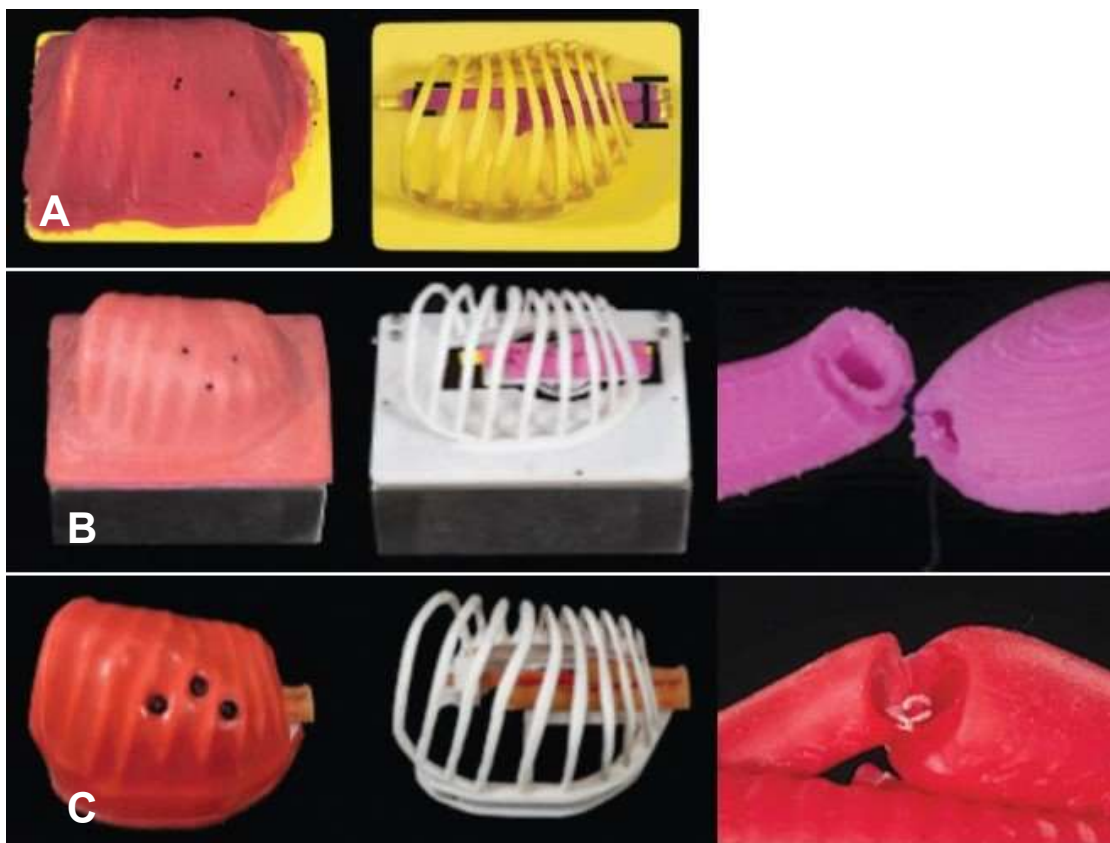
Fonte: Barsness *et al.* (2013); Barsness *et al.* (2015).

A caixa torácica foi projetada utilizando o *software* 3D Solidworks®, com medidas precisas e impressa em plástico Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS). Um tecido mediastinal bovino fetal do segundo trimestre (coração, pulmões, aorta, traqueia e esôfago em bloco único) foi obtido em abatedouro comercial. O esôfago foi seccionado ao nível da carina e suturado em bolsa à carina posterior. O esôfago proximal foi encurtado em 1 cm e, em seguida, fechado em bolsa. O “gap” esofágico era de aproximadamente 2 cm. Uma grande vantagem desse modelo foi a utilização de tecido que normalmente é descartado durante o abate de rotina de animais para preparação de alimentos comerciais. Entretanto, como o tecido animal não é permitido na maioria dos laboratórios de simulação hospitalares devido ao risco de contaminação cruzada de instrumentos cirúrgicos humanos e possíveis doenças infecciosas, em novo modelo os

autores substituíram os tecidos bovinos por tecidos sintéticos de baixo custo (Figura 7), corroborando o treinamento intra-hospitalar (BARSNESS, 2013; BARSNESS, 2015).

Semelhantemente, Wells *et al.* (2020), desenvolveram de forma progressiva, um simulador exclusivamente sintético para AE. O modelo foi aprimorado a partir das sugestões de colaboradores que o testaram em encontros semestrais. Em geral, as melhorias tornaram o arcabouço torácico, com costelas, músculos e pele, mais “reais”, bem como os cotos esofágicos com camadas muscular e mucosa bem identificáveis, permitindo aos aprendizes aprimorar táticas cirúrgicas fundamentais (Figura 8).

Figura 8 - Etapas do desenvolvimento de um simulador em AE. A) Construção da caixa torácica e sua cobertura; B) Aprimoramento do modelo inicial e desenvolvimento de um modelo esofágico em camadas, com sensores de força para avaliar manipulação tecidual esofágica



Fonte: Wells *et al.* (2020); Moorhead *et al.* (2020).

Esse simulador para tratamento toracoscópico de AE, montado dentro de um modelo de caixa torácica neonatal, impresso em 3D, utilizou sensores de força e movimento integrados ao projeto, para avaliar suavidade de movimento (Figura 8). O dispositivo foi capaz de fornecer efetivamente, em tempo real, dados de força e movimento. Isso é particularmente importante em neonatos, pois seus tecidos, especialmente o esôfago, são mais delicados e mais propensos a lesões durante o manuseio excessivo (MOORHEAD, 2020).

Outro protótipo totalmente sintético, desenvolvido no Reino Unido, permite o treinamento tanto do tratamento minimamente invasivo quanto do tratamento por toracotomia da AE (Figura 9). Os autores enfatizam as vantagens da adequada utilização das impressoras 3D, que permitem que os materiais sejam selecionados com base na semelhança com as estruturas biológicas reais, aumentando a realidade do modelo. Requer um custo inicial de aquisição da impressora, entretanto os custos de confecção dos segmentos de emprego único, no caso os cotos esofágicos proximal e distal, são considerados acessíveis (NEVILLE, 2022).

Figura 9 - Modelo de treinamento aberto e por CMI em AE. A) Visão externa e interna no treinamento do reparo da AE por toracotomia; B) E por toracoscopia



Fonte: Neville *et al.* (2022).

Buscando incentivar os entusiastas da videocirurgia a fazer seus próprios modelos de acordo com as necessidades de aprendizagem de cada centro, foi desenvolvido um modelo totalmente inanimado, portátil, reproduzível e de baixo custo, para treinamento em cirurgia reparadora minimamente invasiva de AE (Figura 10). Foram utilizados um pedaço de madeira de 7 x 4 x 1 cm com ranhura (5 mm de profundidade) como base; três tubos plásticos corrugados de diferentes diâmetros (50 mm, 25 mm e 15 mm) para simular a caixa torácica, a coluna e a traqueia, respectivamente. Todas as estruturas foram coladas e pintadas de laranja, representando a visão do hemitórax direito. Dois balões tubulares de látex com diâmetro de 5mm e 3mm, e de cores diferentes foram dispostos um dentro do outro, para simular a camada muscular e mucosa do esôfago. O modelo de simulação foi colocado no tórax de um boneco de borracha comum, simulando um bebê de 3 kg. Ele foi posicionado em decúbito ventral, com os trocartes assim dispostos: terceiro espaço intercostal, linha axilar posterior (ótica); axilar, no segundo espaço intercostal; quarto espaço intercostal próximo à coluna (MARICIC, 2016).

Figura 10 - Modelo sintético para treinamento toracoscópico em AE, com arcabouço interno fixado na cavidade torácica de simulador

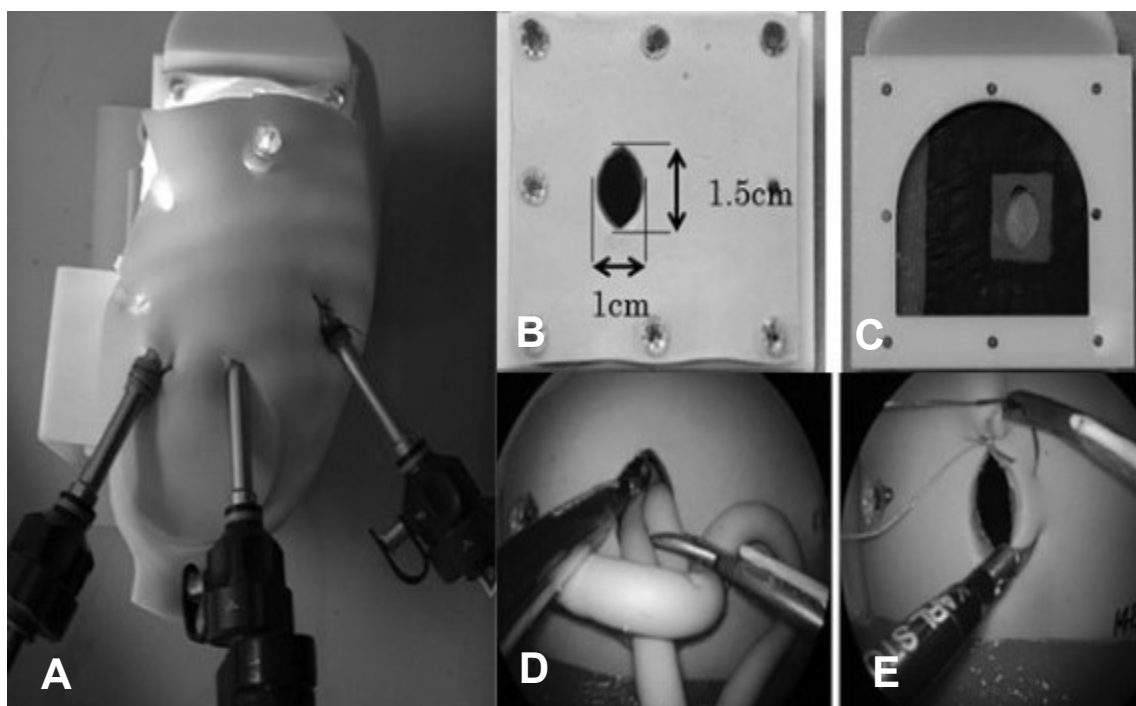


Fonte: Maricic *et al.* (2016).

Um novo modelo torácico de tratamento de HDC, imitando um recém-nascido (3 kg; tamanho do defeito do diafragma, 1,0 – 1,5 cm) replica o reparo toracoscópico completo (Figura 11).

O procedimento requer habilidades endoscópicas altamente avançadas e inclui a redução dos órgãos herniados e a sutura do diafragma. A cavidade torácica foi desenvolvida com base em dados de tomografia computadorizada e foi coberta por uma folha de “pele macia”. O modelo foi posicionado em decúbito lateral direito. Três trocartes (5 mm) foram assim posicionados: no quinto espaço intercostal, na linha axilar posterior esquerda (pinça esquerda); no quarto espaço intercostal, na linha axilar média esquerda (câmera); e no quinto espaço intercostal, na linha axilar anterior esquerda (pinça direita). O diafragma é destacável, feito em duas camadas (OBATA, 2015).

Figura 11 - Modelo sintético para treinamento toracoscópico em HDC. A) Visão externa do treinamento; B, C) Visão interna do defeito e sua fixação; D) Prática de redução das alças intestinais; E) E sutura diafragmática



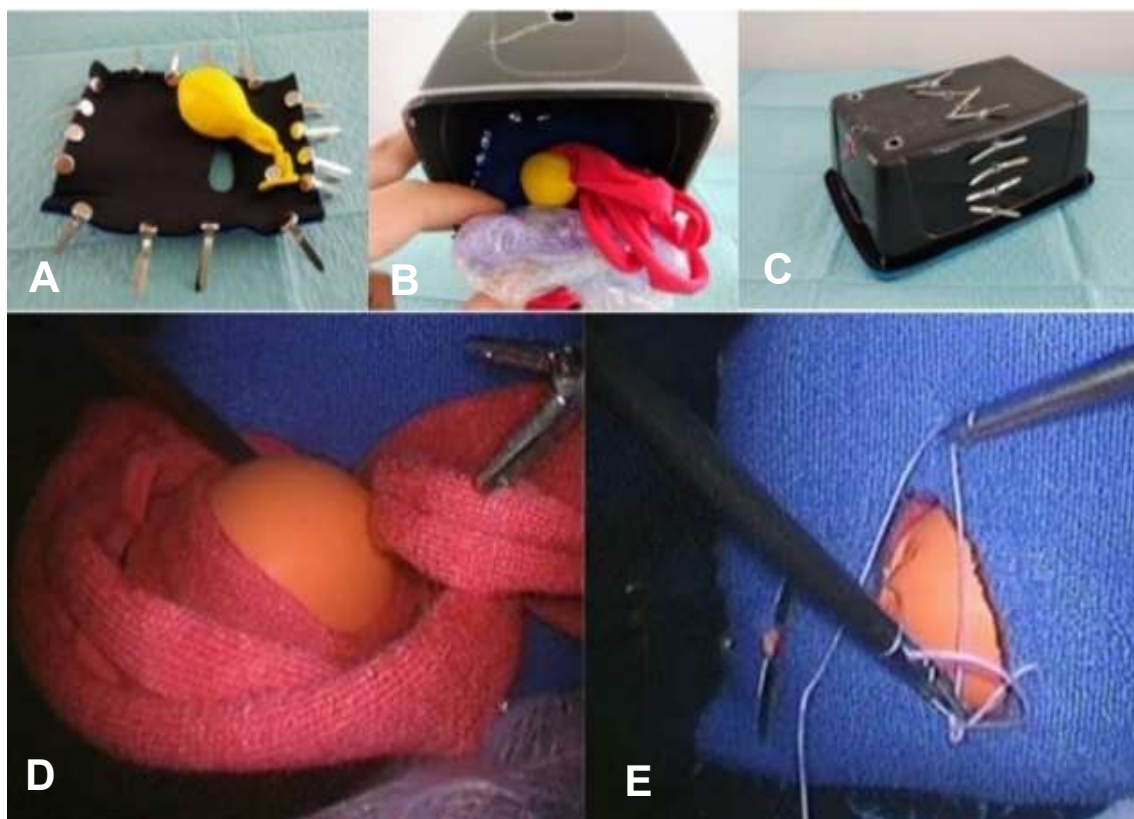
Fonte: Obata *et al.* (2015).

Foi também desenvolvido um modelo de HDC de baixo custo e fácil construção, que permitisse ao residente aprimorar as habilidades necessárias

para um procedimento de CMI neonatal (Figura 12).

Para a produção do simulador foi utilizado um pequeno recipiente plástico de comida (18 × 12 × 7 cm); um elástico de neoprene para simular o diafragma, com defeito de 2 x 1,5 cm; um cordão de pano para simular o intestino do recém-nascido; um pequeno balão inflado simulando o baço; uma esponja de lavagem corporal embrulhada em filme transparente de cozinha para simular um colapso pulmonar; tinta spray preta; e fixadores de latão de escritório, gerando um custo total de 13,25 dólares. Três furos permitem a passagem da câmera e das pinças laparoscópicas (REINO-PIRES, 2018).

Figura 12 - Modelo de baixo custo para treinamento toracoscópico em HDC. A,B) Materiais utilizados na produção do modelo; C) Visão externa; D) Visão toracoscópica do treinamento em redução do conteúdo herniado; E) E sutura diafragmática



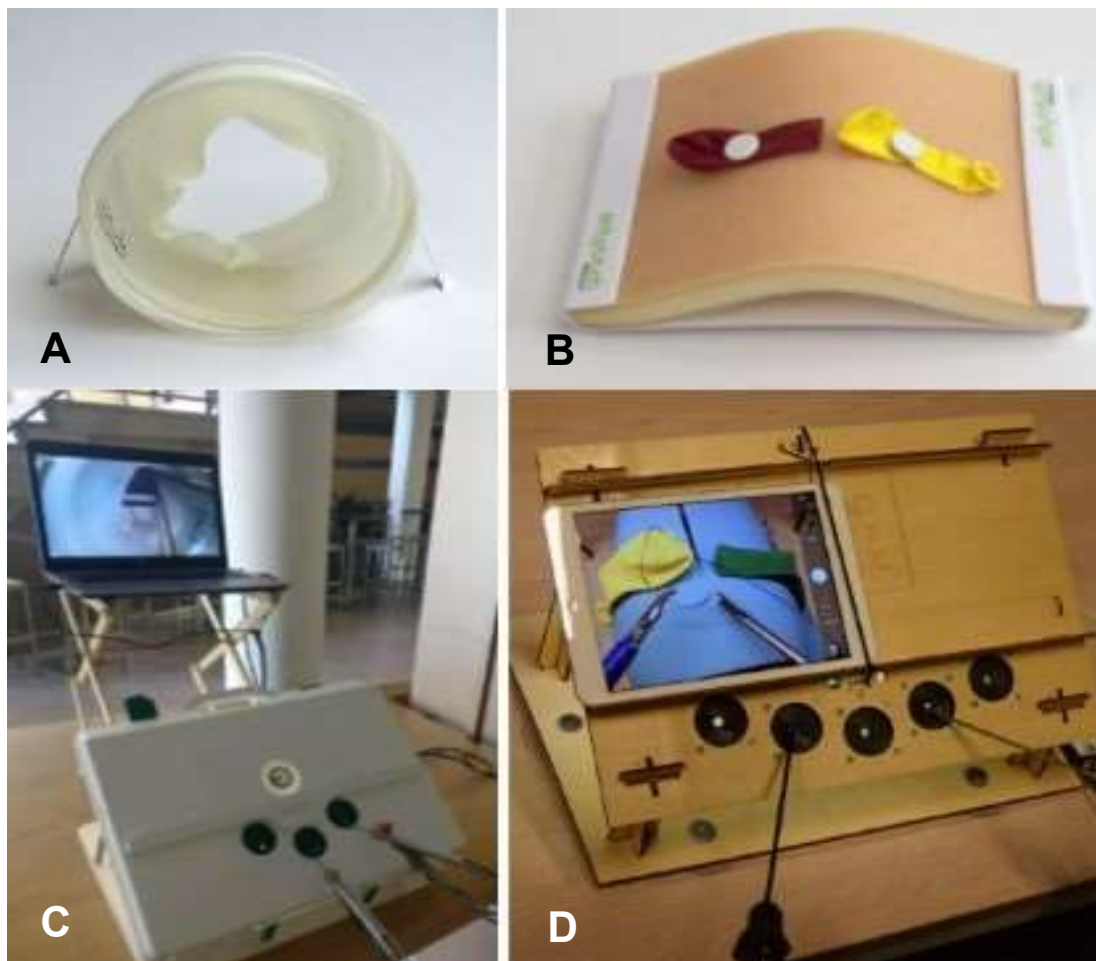
Fonte: Reino-Pires *et al.* (2018).

Outro modelo de simples reprodução e baixo custo foi apresentado por Ljuhar (2018), utilizando uma caixa de treinamento laparoscópico convencional

e construindo um modelo de simulação de hérnia inguinal e hérnia diafragmática. Três peças de madeira compensada unidas em uma estrutura triangular com dobradiças metálicas. Quatro furos de tamanhos iguais foram cortados em uma superfície e um oval alongado cortado na superfície oposta. Uma luva sem látex foi esticada sobre as quatro aberturas com cada uma delas simulando um orifício de hérnia inguinal. Um pedaço de neoprene com um defeito recortado de largura padronizada foi colocado sobre a abertura no tamanho oposto para simular uma HDC. Apesar da simplicidade e pouca semelhança física com a realidade, esses protótipos auxiliam no treinamento do tratamento cirúrgico da HDC, com a vantagem de poderem ser confeccionados pelo próprio aprendiz.

Bökkerink *et al.* (2021) desenvolveram dois modelos para toracoscopia neonatal, um para AE e outro para HDC, de baixo custo, para uso doméstico e treinamento em caixa preta laparoscópica convencional (Figura 13). Para o modelo de AE, foram utilizados dois balões de água, sendo cortadas as suas extremidades, a menor de um balão e a mais larga do outro. Os balões foram acoplados às almofadas de sutura, à semelhança dos dois cotos esofágicos. O modelo de HDC foi composto por um copo redondo de plástico transparente e uma luva cirúrgica. Foi removido o fundo do copo e cortados os dedos da luva a 7 cm da abertura. Em seguida, a luva foi colocada sobre o copo, com a extremidade cortada sobre o fundo retirado do copo, simulando o defeito do diafragma. O copo com luva foi fixado a uma prancha de exercícios. O realismo dos aspectos visuais é muito limitado, entretanto o foco dos modelos está no treinamento da sutura e não na dissecação, muito difícil de simular, o que tornaria o modelo caro e não facilmente reutilizável ou acessível.

Figura 13 - Modelos para treinamento em AE e HDC. A) Modelo de falha diafragmática; B) Modelo de cotos esofágicos; C,D) Treinamento em caixas de laparoscopia



Fonte: Bökkerink *et al.* (2021).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 TESTES DOS MATERIAIS DESCARTÁVEIS

As duas etapas iniciais de testes visaram avaliar os materiais viáveis tecnicamente para a confecção dos modelos esofágico e diafragmático descartáveis. A primeira etapa de testes iniciou-se com a comparação da lesão tecidual provocada pela sutura simples externa em três materiais distintos. Convencionou-se o poligalactina 5.0, com agulha cilíndrica, fio absorvível sintético e multifilamentar, como o fio padrão para essa etapa inicial de testes. Foram realizados dez pontos simples em cada modelo, com distância de 0,5 cm, em momento único e por um mesmo cirurgião.

Os três materiais testados foram: um balão de látex, um modelo de silicone e uma placa de borracha de silicone (BS). Foi utilizado um balão de látex cilíndrico de 5 mm de diâmetro, obtido no mercado varejista. O modelo de silicone, próprio para treinamento de suturas, foi adquirido junto à site especializado. A placa de borracha de silicone foi desenvolvida pelos autores. Foi utilizada uma BS azul líquida, curada à temperatura ambiente com catalisador próprio, produzindo uma placa plana de 2 mm de espessura, 5 cm de largura e 10 cm de comprimento.

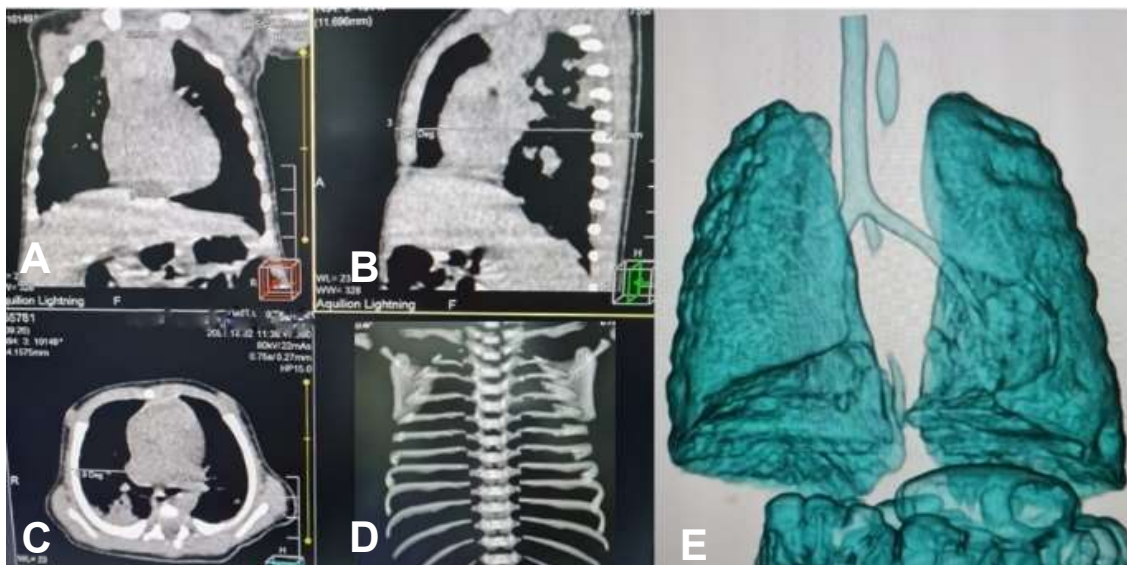
A segunda etapa de testes foi realizada de forma semelhante a primeira, comparando-se a lesão tecidual provocada pela sutura simples externa em três tipos de BS: azul, verde e branca. Segundo o fornecedor Redelease®, essas BS possuem após a cura, dureza de SHORE A 10 – 12, 14 e 5 – 10, respectivamente. Foram realizados cinco pontos simples em cada placa de BS, nos moldes da primeira etapa.

De forma simples, as lesões foram definidas como ausentes (sutura totalmente íntegra), parciais (tecido parcialmente esgaçado) e totais (tecido rasgado após a sutura). Foi realizado o teste qui-quadrado para verificar a associação entre o tipo de tecido e a lesão tecidual ocorrida pela agulha e fio de sutura, em cada uma das etapas, com nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Após as duas etapas iniciais de testes, para definição do tamanho e características tanto dos modelos descartáveis quanto de todo o arcabouço

interno e externo do projeto, foi utilizada uma reconstrução em 3D de uma tomografia computadorizada (TC) (Canon, Aquilion Lightning 16 canais) de um recém-nascido de 3 kg de peso (Figura 14).

Figura 14 - TC de tórax com reconstrução em 3D de recém-nascido de 3 kg. A) Corte coronal; B) Corte sagital; C) Corte axial; D) Reconstrução óssea; E) Reconstrução visceral



Fonte: Autoria própria.

4.2 DEFINIÇÃO DO ARCABOUÇO EXTERNO

A construção da porção fixa do simulador também foi um grande desafio, uma vez que muitos detalhes foram necessários para compor as características internas e externas estruturais, bem como a sensação simulada semelhante à realidade.

Encontramos no mercado uma boneca de plástico, tipo *baby* (Figura 15), com as dimensões torácicas exatas às obtidas pela reconstrução de tomografia computadorizada 3D de recém-nascido de 3 kg (distância látero-lateral do hemitórax esquerdo – 4,5 cm; distância crânio-caudal – 6,5 cm; distância ântero-posterior – 7,5 cm) (Figura 16).

A boneca foi utilizada como arcabouço externo, uma espécie de “caixa preta” com design neonatal, com 50 cm de comprimento e estrutura física muito semelhante a um bebê de 3 kg. Para aproximar ainda mais o simulador da

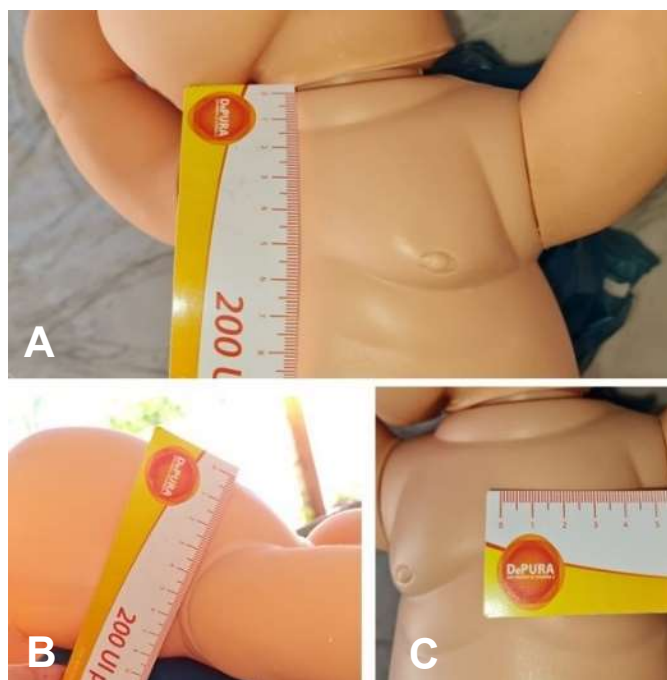
realidade, a cabeça e os membros da boneca (regiões não envolvidas no treinamento) foram preenchidos com areia, até chegar ao peso aproximado de 3 kg.

Figura 15 - Boneca de plástico tipo baby utilizada como “caixa preta”



Fonte: Autoria própria.

Figura 16 - Dimensões do hemitórax esquerdo da boneca utilizada como “caixa preta”. A) Diâmetro crânio-caudal; B) Ântero-posterior; C) Látero-lateral



Fonte: Autoria própria.

Como a simulação deve englobar a manipulação a nível diafragmático, para a inserção dos “órgãos” sintéticos torácicos não seria possível a abertura da boneca ao nível da transição tóracoabdominal. Dessa forma, optou-se por uma abertura ao nível da transição abdominopélvica, circunferencialmente, permitindo acesso completo às cavidades (Figura 17). Para o fechamento dessa abertura durante o treinamento, fixou-se com fio de nylon na porção anterior do arquétipo uma trava em forma de encaixe, utilizada em roupas e encontrada em armarinhos.

Figura 17 - Abertura de boneca em transição abdominopélvica



Fonte: Autoria própria.

4.3 CONSTRUÇÃO DO ARCABOUÇO INTERNO

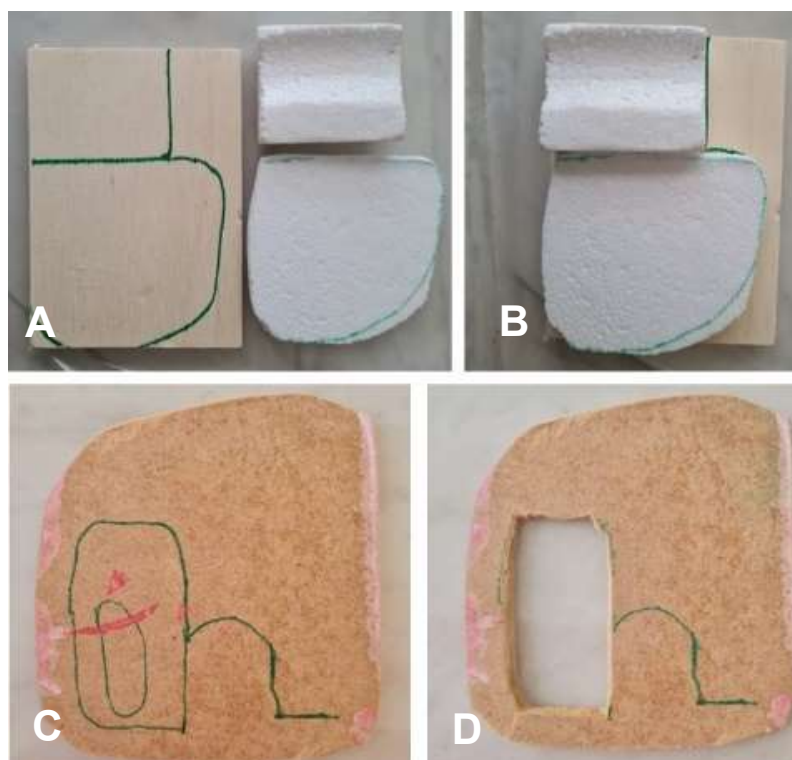
Seguiu-se a criação do arcabouço interno torácico principal, responsável por dividir tórax e abdome, estabelecer os limites entre os hemitórax direito e esquerdo e fixar as estruturas responsáveis pela visão semelhante à realidade que o aprendiz encontrará durante a simulação.

Após muitas tentativas e processos, com materiais diversos, como papelão, plástico e isopor, com base nos diâmetros torácicos, foram utilizadas duas placas, uma de madeira, de 1 cm de altura/espessura, 6 cm de

comprimento e 4 cm de largura; e outra placa de compensado, de 3 mm de espessura e largura e comprimento, moldados à transição tóracoabdominal da boneca.

As placas foram fixadas com pregos, de modo que a placa de madeira ficou centralizada no tórax, dividindo os dois hemitórax, e a placa de compensado dividiu tórax e abdome. A placa de compensado foi perfurada no hemitórax esquerdo, gerando uma falha que permitisse a fixação do diafragma artificial de BS para o treinamento (Figura 18).

Figura 18 - Base do arcabouço torácico interno. A,B) Placa de madeira; C,D) Placa de compensado

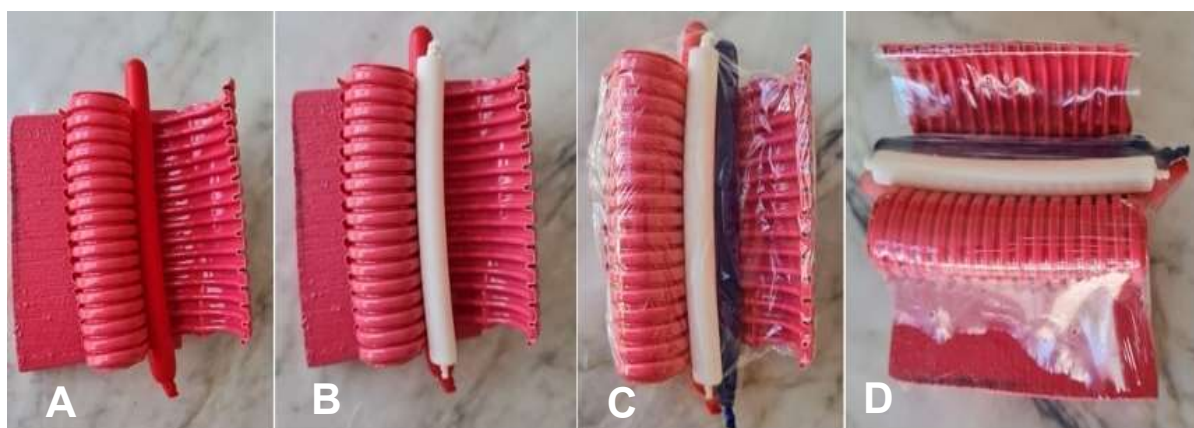


Fonte: Autoria própria.

As estruturas adjacentes ao esôfago e diafragma, que fazem parte do arcabouço torácico interno foram projetadas a partir de materiais facilmente disponíveis e de baixo custo, como eletrodutos corrugados de diferentes diâmetros, balões cilíndricos de látex e BS, de forma similar ao modelo de Maricic *et al.* (2016).

Os órgãos definidos como fundamentais para gerar verossimilhança interna foram: arcabouço costal interno, coluna vertebral torácica, aorta, veia cava/ázigos e traqueia. Dessa forma, a construção e fixação desses órgãos foi estabelecida sobre a placa de madeira. A coluna torácica foi formada a partir de um eletroduto corrugado de 15 mm; o arcabouço costal interno foi construído a partir de um eletroduto corrugado de 25 mm, seccionado e moldado; a aorta, veia cava e traqueia foram simulados a partir de bastões cilíndricos de cola, recobertos com balões cilíndricos de cores vermelha, azul e branca, respectivamente. Os corrugados e a placa de madeira foram pintados com tinta spray de cor vermelho alaranjado, tipo amaranto, enquanto a placa de compensado foi pintada com tinta spray de cor rosa. Os órgãos simulados foram dispostos anatomicamente, com a coluna torácica centralmente na placa de madeira, o arcabouço costal lateralmente à esquerda, a aorta entre eles mais profundamente, a veia cava mais lateralmente e a traqueia por sobre elas. Todas as estruturas foram coladas com cianocrilato e depois recobertas com plástico filme, para simular a pleura visceral (Figuras 19 e 20).

Figura 19 - Arcabouço torácico interno em formação. A) Visão superior da construção do arcabouço interno, com fixação progressiva da aorta; B) Traqueia; C) Veia cava; D) E cobertura da pleura visceral



Fonte: Autoria própria.

Essas placas, com toda a estrutura de órgãos torácicos, foram parafusadas no dorso da boneca e as pontas dos parafusos foram cobertas com placas de adesivos de cor semelhante à “pele” da boneca.

Figura 20 - Arcabouço torácico interno completo em ângulos diversos

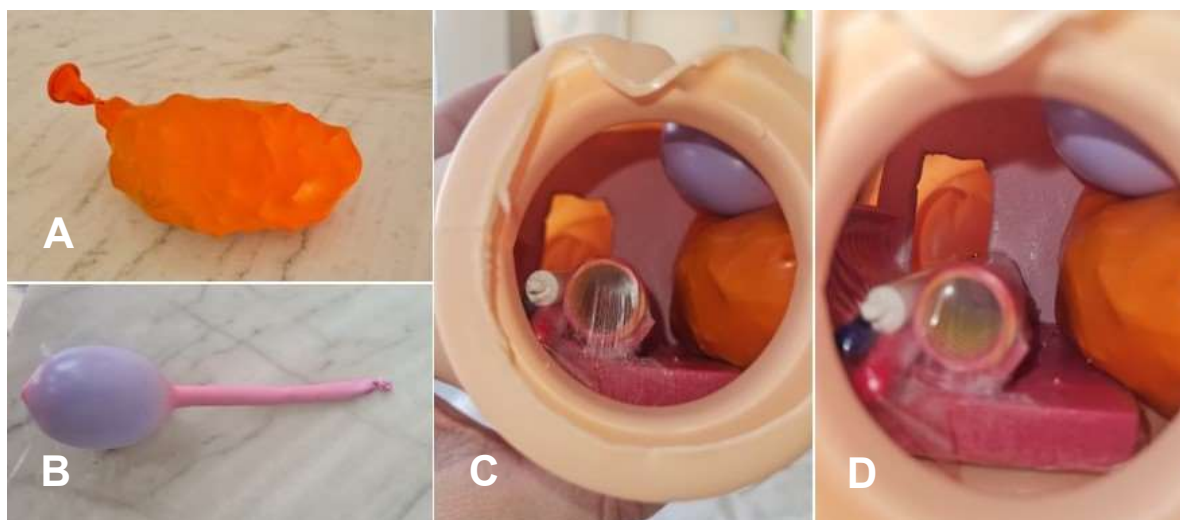


Fonte: Autoria própria.

4.4 DESENVOLVIMENTO DOS ÓRGÃOS TORÁCICOS ADJACENTES

Quanto às estruturas adjacentes que compõem o cenário torácico interno e limitam o espaço de treinamento a um tamanho real, mas que tem papel coadjuvante nos procedimentos treinados, como o coração e os pulmões, optou-se por balões de látex preenchidos com BS (Figura 21). Utilizou-se balões cilíndricos preenchidos com borracha de silicone curada e seccionada em pequenos fragmentos. Dois balões de cor laranja e um balão de cor rosa representam os pulmões e o coração, respectivamente.

Figura 21 - Órgãos intratorácicos adjacentes ao arcabouço torácico interno. A) Externamente, pulmão; B) E coração; C,D) Visão cranial dos órgãos adjacentes no interior da caixa torácica simulada



Fonte: Autoria própria.

4.5 ÓRGÃOS ABDOMINAIS HERNIADOS

No intento de simular um dos passos cirúrgicos na correção da HDC, a saber, a redução dos órgãos herniados ao tórax, confeccionou-se um modelo de baço e de alças de intestino delgado. O baço foi simulado por um fragmento de BS de aspecto retangular, de cerca de 2,5 x 1,0 cm, envolto em um balão de látex preto. Já o intestino delgado foi simulado por um balão de látex cilíndrico rosa, preenchido com silicone líquido (Figura 22).

Figura 22 - Órgãos abdominais simulados, herniados ao hemitórax esquerdo. A) Baço; B) Alças intestinais



Fonte: Autoria própria.

4.6 CONFECÇÃO DAS PORTAS DE ENTRADA

As “portas de entrada” do simulador foram confeccionadas a partir de perfurações com furadeira, na parede anterior do tórax da boneca, e finalizadas com a utilização de lixa própria. O diâmetro dos orifícios foi de 0,5 cm e em número de doze, todos no hemitórax esquerdo, desde a linha média até a linha axilar média (Figura 23).

Figura 23 - Marcação da posição dos orifícios de trabalho do simulador

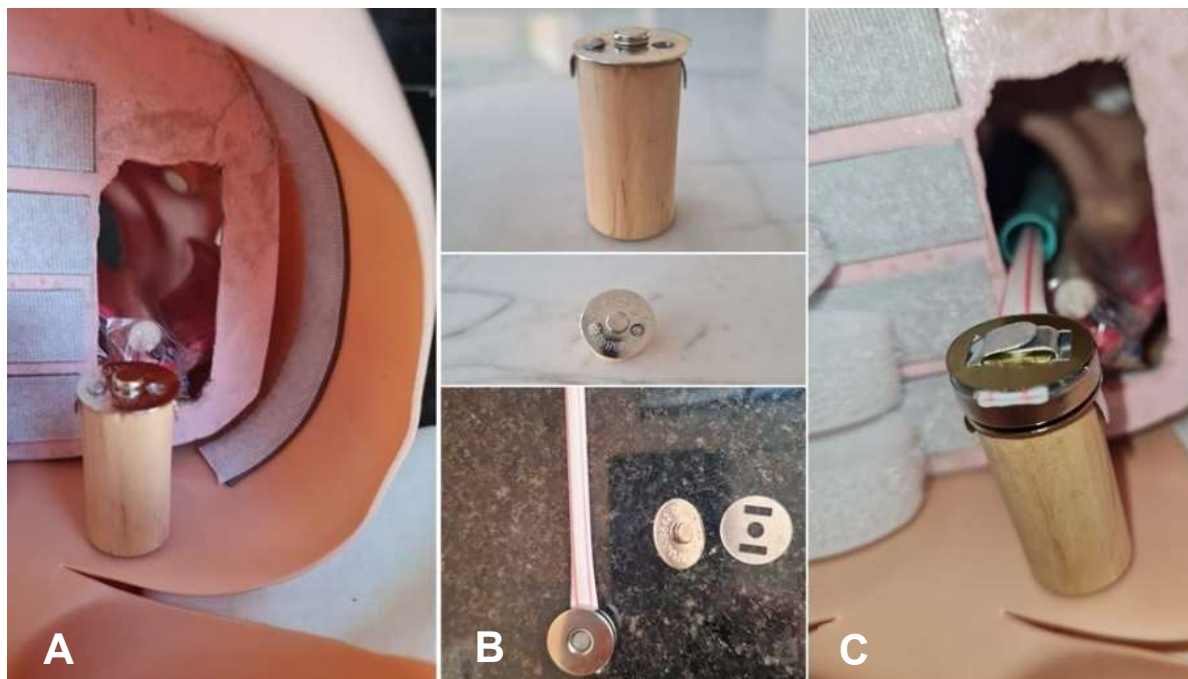


Fonte: Autoria própria.

4.7 MECANISMOS DE ESTABILIZAÇÃO

Para posicionar o esôfago no interior da cavidade torácica e permitir sua manipulação e sutura, desenvolveu-se uma forma de estabilização temporária, que permitiu a troca dos modelos esofágicos à medida dos treinos. Assim, foi utilizado um pedaço de madeira cilíndrico, de cerca de 2 cm de altura. Ele foi parafusado na região abdominal interna da boneca, quase centralizado, ao nível da abertura na placa de compensado. A ponta do parafuso foi também coberta com adesivo de cor semelhante à “pele” do modelo. No ápice do cilindro de madeira, um dos polos de um ímã circular foi fixado com dois pregos. O outro polo do ímã foi fixado por pressão em um canudo de plástico. Dessa feita, o esôfago de BS é passado pelo canudo, simulando uma sonda oroesofágica, e posicionado adequadamente no tórax posterior, fixando-se ao ímã no abdome (Figura 24).

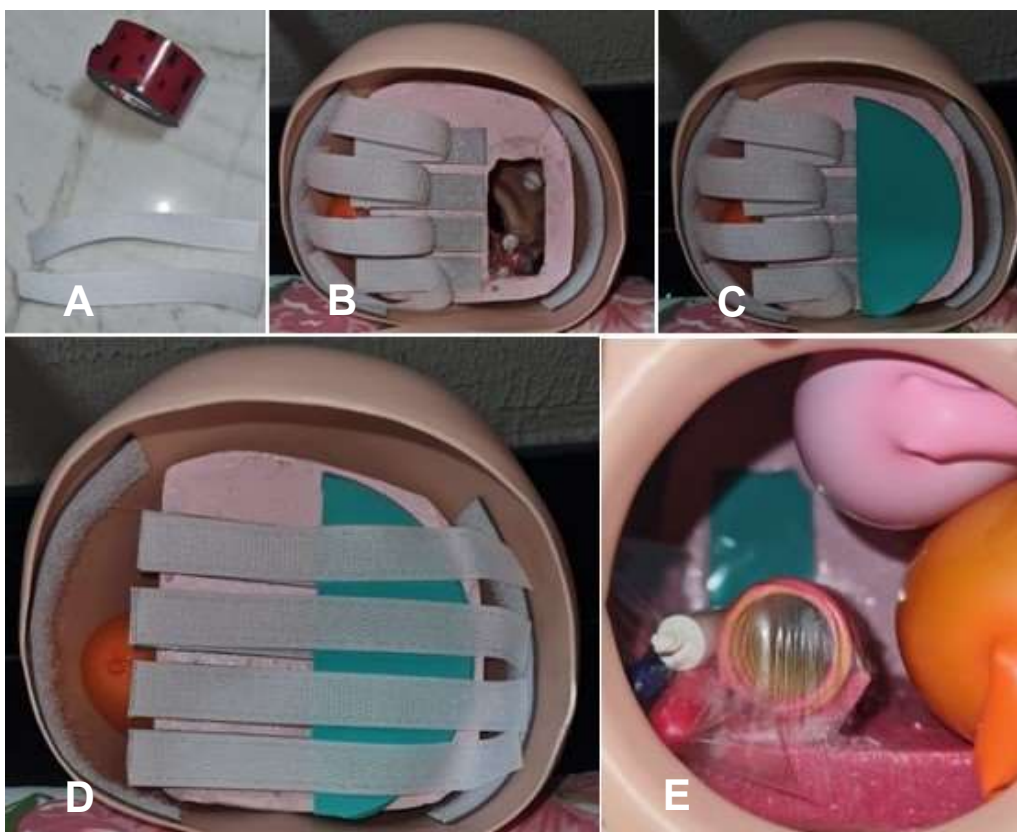
Figura 24 - Mecanismo para estabilização do modelo esofágico. A) Pedaco de madeira cilíndrico, com um dos polos de um ímã fixado superiormente; B) O detalhe do ímã e o outro polo fixado em um canudo; C) Representação do modelo completo estabilizado



Fonte: Autoria própria.

Já para a estabilização do modelo de diafragma de BS, de forma temporária, foram utilizadas múltiplas fitas de velcro, fixadas ao interior da parede abdominal e à placa de compensado, em sua face abdominal, com fita adesiva dupla face, permitindo a fixação e retirada dos diafragmas, à medida que utilizados (Figura 25).

Figura 25 - Mecanismo para estabilização do modelo diafragmático. A,B) Sequência representativa da fixação do velcro no modelo, sem a BS (visão caudal); C, D) Com a BS (visão caudal); E) Visão cranial da BS estabilizada

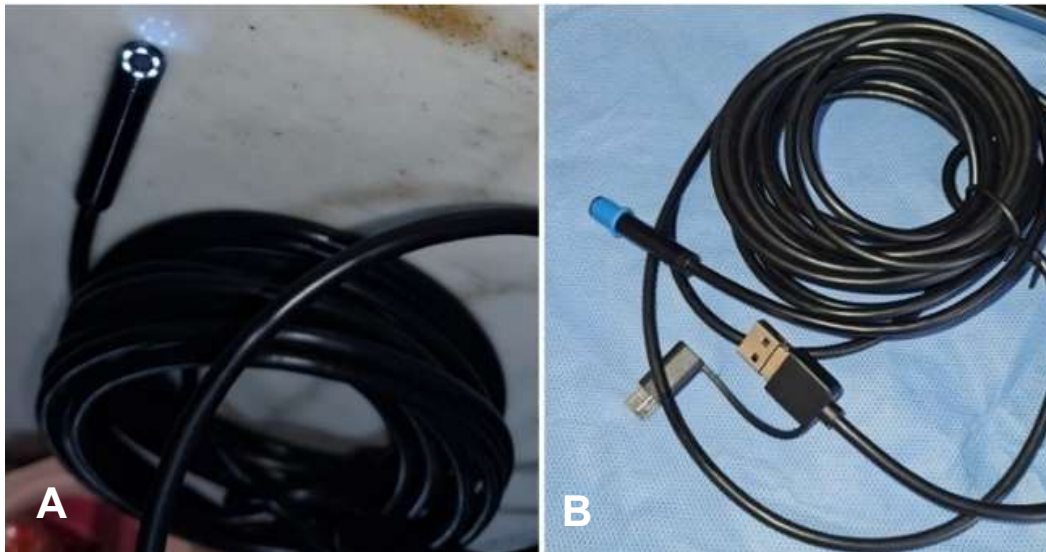


Fonte: Autoria própria.

4.8 AQUISIÇÃO DE IMAGEM E ILUMINAÇÃO

Para a aquisição das imagens e iluminação interna, utilizou-se uma microcâmera cilíndrica de 4 mm de diâmetro, resolução de 5 *megapixels*, no formato de endoscópio, com transmissão da imagem para celular e notebook. Possui cabo de até 5 metros e é utilizada principalmente para acessar locais como motores de carros, encanamentos e bueiros. Apresenta diferentes configurações e está disponibilizada no mercado a partir de 37 reais. Além disso, ela também possui seis *leds* com iluminação ajustável, o que permite direcionar a iluminação conforme mobilidade da câmera, como realizado durante a cirurgia *in vivo* (Figura 26).

Figura 26 - Câmera endoscópica cilíndrica com leds acoplados. A) Sem balão na ponta; B) Com balão na ponta



Fonte: Autoria própria.

4.9 MATERIAL EXTERNO PARA TREINAMENTO

A caixa torácica neonatal tridimensional desenvolvida usando os dados da tomografia computadorizada já mencionada, apresenta volume médio da área de trabalho inferior a 50 ml. Para o treinamento são necessários instrumentos regulares de 3 mm (Figura 27), inseridos a partir dos orifícios pré-definidos.

Figura 27 - Pinças de 3 mm para cirurgia minimamente invasiva



Fonte: Autoria própria.

4.10 TESTES PARA AVALIAÇÃO DO MODELO

A terceira etapa de testes, visou avaliar o modelo desenvolvido. Foram convidados seis cirurgiões com conhecimento técnico em laparoscopia. Eles foram divididos em três categorias: dois residentes do terceiro ano em cirurgia pediátrica (experiência em laparoscopia geral); dois cirurgiões pediátricos (experiência em laparoscopia pediátrica); e dois cirurgiões pediátricos experientes (experiência em laparoscopia e toracoscopia neonatal – pelo menos uma toracoscopia neonatal por ano).

Essa etapa foi composta de duas fases. Na primeira fase os convidados foram orientados quanto às características do simulador e regras da análise. Cada cirurgião tinha um limite de 10 minutos (600 segundos) para completar a tarefa, contados desde a entrada da ótica até a saída da última pinça do simulador. A tarefa consistia em realizar dois pontos simples no esôfago já semi-seccionado e dois pontos simples no defeito diafragmático. Os cirurgiões foram avaliados quanto ao tempo para finalizar a tarefa (em segundos) e conforme uma escala global validada de habilidades (OSATS, do inglês, *Objective Structured Assessment of Technical Skills*), por um cirurgião experiente, segundo Nair *et al.* (2021), suficiente para fornecer confiabilidade. Os resultados dessas tarefas foram apresentados em forma de gráficos.

OSATS é uma escala global de avaliação de habilidades e inclui sete domínios específicos: respeito pelo tecido, tempo e movimento, manuseio de instrumentos, manuseio da ótica, fluxo do procedimento, uso de assistentes e conhecimento do procedimento. O escore máximo em cada domínio é cinco, permitindo assim um total de 35 pontos por avaliação (AL JANABI, 2019) (ANEXO).

Na segunda fase dessa etapa os cirurgiões que finalizaram o processo foram convidados a responder um formulário com uma escala do tipo *Likert*, com cinco questões acerca do modelo experimentado. As quatro primeiras questões tratavam de aspectos anatômicos e suas respostas deveriam obedecer à seguinte proposta: 5 – muito semelhante; 4 – semelhança média; 3 – semelhança razoável; 2 – pouca semelhança; e 1 – nenhuma semelhança. A quinta pergunta tratava da aplicabilidade dos modelos, com as seguintes

respostas: 5 – concordo plenamente; 4 – concordo parcialmente; 3 – não concordo e nem discordo; 2 – discordo parcialmente; e 1 – discordo plenamente. Os resultados dessa etapa foram descritos em forma de média, desvio padrão, mediana e valores mínimos e máximos, para cada modelo avaliado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS DESCARTÁVEIS

O silicone já é bem estabelecido como um material utilizado tanto para treinamento externo de suturas (BOYAJIAN, 2020) como para confecção de modelos orgânicos específicos (MONDA, 2018), sempre através da utilização de impressoras 3D. De acordo com revisão de Nair *et al.* (2019), dos dez modelos desenvolvidos por múltiplas instituições para treinamento em diversas doenças cirúrgicas pediátricas, oito foram construídos de silicone, através de impressoras 3D.

Outro material também utilizado por alguns autores em modelos de simulação pediátricos são os balões de látex. Eles são utilizados tanto para treinamentos mais básicos de manipulação, secção e inserção de estruturas, até para a realização de suturas e simulação de órgãos específicos (MARICIC, 2016; NAIR, 2019; BÖKKERINK, 2021).

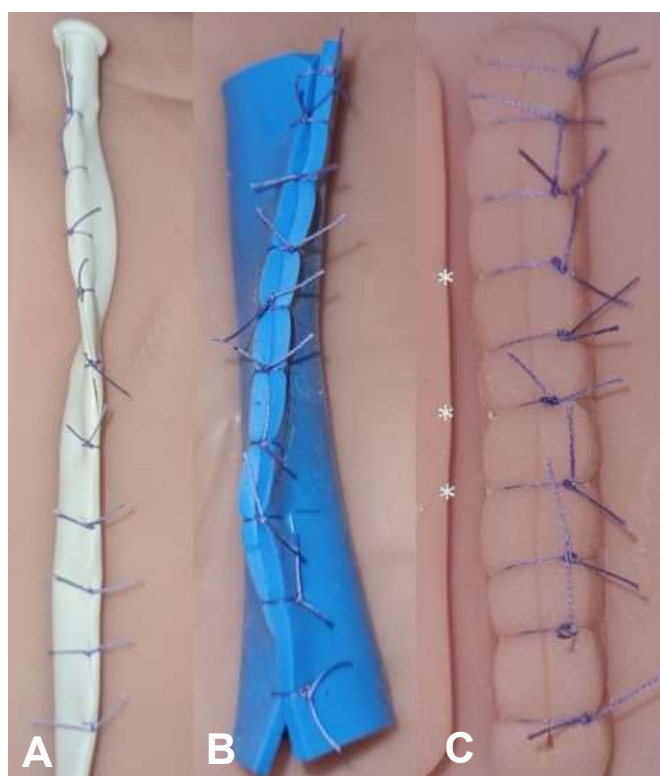
A BS é um polímero sintético de silicone-oxigênio, com propriedades únicas, como biocompatibilidade, temperatura e resistência química superiores, além de boas propriedades mecânicas e elétricas. Devido à diversidade de potenciais composições, pode ser alterada para que exista em forma sólida ou na forma de um gel macio, podendo ser adaptada a uma aplicação específica. Há uma variedade de aplicações na indústria biomédica, como em dispositivos implantáveis, desfibriladores, componentes reconstitutivos cirúrgicos e dispositivos de reabilitação (CHO, 2021).

Casas-Murillo *et al.* (2021) desenvolveram um modelo em impressora 3D de uma via biliar extra-hepática a partir de BS, para treinamento laparoscópico doméstico de doenças da via biliar, principalmente colecistectomias. Os autores não encontraram na literatura outros exemplos de modelos orgânicos construídos de BS e nenhum desenvolvido artesanalmente, sem uso de impressoras 3D.

No modelo de silicone, houve três lesões parciais (Figura 28), enquanto nos modelos de BS e balão de látex não houve nenhuma lesão parcial ou total (Tabela 1). Os dados sugerem que existe diferença significativa entre os

materiais estudados quanto à lesão tecidual parcial provocada pela agulha e pelo fio de sutura, com resultados favoráveis à BS e ao balão de látex. Uma vez que as características táteis e visuais do modelo de BS favorecem o treinamento, com resultados aceitáveis, optou-se por seguir a fase de testes, em busca da BS mais adequada para compor o modelo esofágico e diafragmático.

Figura 28 - Efeitos teciduais da sutura sobre três diferentes materiais. A) Balão de látex; B) Borracha de silicone azul; C) Silicone



Legenda: * localização das lesões teciduais no modelo de silicone.

Fonte: Autoria própria.

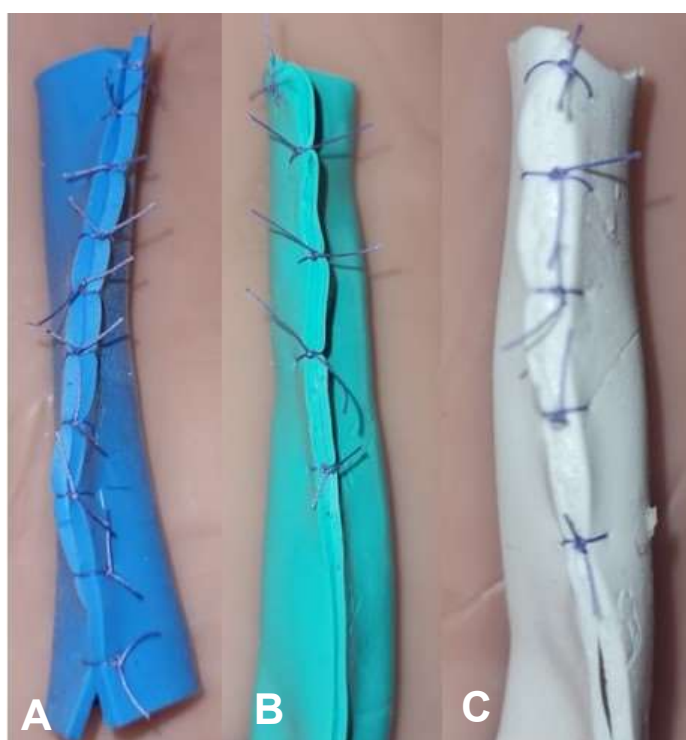
A segunda fase de testes, comparou três tipos de BS, azul, verde e branca, quanto à lesão tecidual provocada pela passagem da agulha e do fio de sutura (Figura 29). Os três tipos de BS apresentaram resultados idênticos, não houve nenhuma lesão parcial ou total.

Tabela 1 - Comparação da lesão tecidual provocada pela sutura em diferentes materiais

SUTURA SIMPLES				<i>p</i> *
LESÃO	MATERIAIS			
TECIDUAL	BL	BS	SILICONE	
	n (%)	n (%)	n (%)	
AUSENTE	10 (100,0)	10 (100,0)	7 (70,0)	0,036
PARCIAL	0	0	3 (30,0)	

Legenda: BL – balão de látex; BS – borracha de silicone; * teste qui-quadrado.
Fonte: Autoria própria.

Figura 29 - Efeitos teciduais da sutura sobre três diferentes BS. A) BS azul; B) BS verde; C) BS branca



Fonte: Autoria própria.

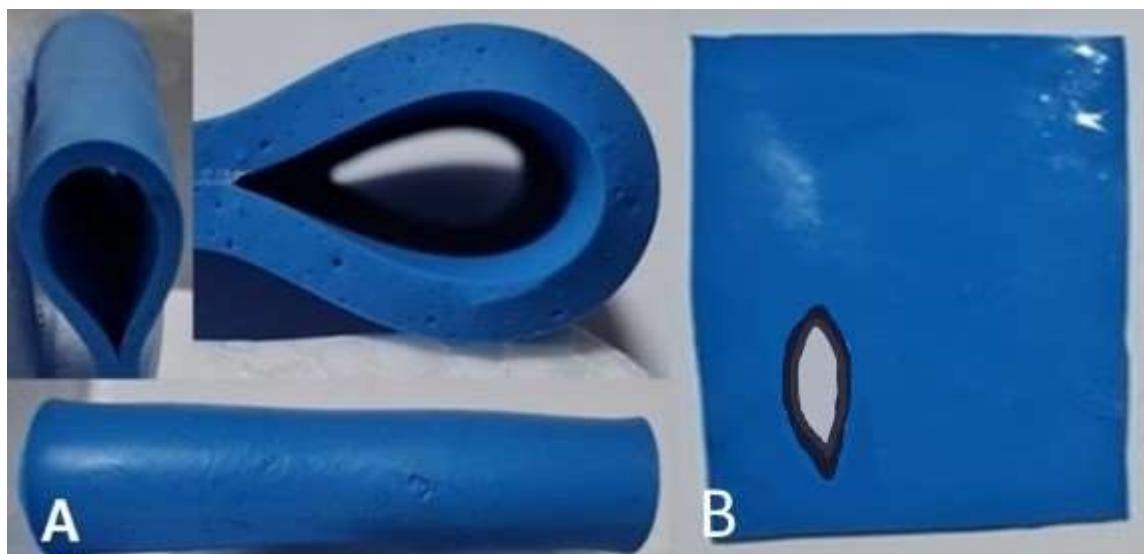
Após a fase inicial de testes, uma vez que não houve diferença entre as BS, foi optado pela utilização da BS disponível, independentemente da cor, para

os dois modelos e padronizada uma técnica de secagem da BS em papel e pratos de acrílico, de forma plana, com espessura de 1 a 2 mm.

5.2 APRESENTAÇÃO DOS MODELOS

Para o desenvolvimento do modelo esofágico, o principal desafio foi construir um órgão cilíndrico e tridimensional, que permitisse a manipulação, secção e sutura, sem esgarçar ou rasgar, simulando tecidos esofágicos reais, e sem a utilização de impressoras 3D. Após múltiplas tentativas de construção de moldes, foi optado por uma técnica em que uma fina camada de cerca de 2 mm de BS curada, cortada em formato retangular, de 7 x 3 cm, foi fixada circunferencialmente em seu maior eixo com cianocrilato, mantendo um diâmetro interno de 5 mm, e seccionado o excesso de BS (Figura 30).

Figura 30 - Modelos em BS em ângulos diversos. A) Esofágico; B) Diafragmático



Fonte: Autoria própria.

Para o diafragma artificial, utilizou-se técnica semelhante (Figura 30). O esôfago simulado apresenta uma secção semitotal de sua luz e o diafragma possui um defeito em região póstero-lateral, de 2 x 1 cm, realizados com tesoura e estilete, respectivamente.

Diferente da proposta de alguns autores (BARSNESS, 2015; MOORHEAD, 2020; NEVILLE, 2022; WELLS, 2020), que desenvolveram

modelos altamente tecnológicos, com a construção do esôfago em impressoras 3D e em camadas, permitindo inclusive a identificação e a orientação posterior dos treinandos quanto à mobilização no interior da caixa de treinamento e às forças de tração e pressão sobre o esôfago, o modelo proposto apresenta um esôfago em camada única, mas que pode auxiliar bastante o aprendiz na aquisição de habilidades em suturas e mobilização em mínimos espaços.

Alguns autores propuseram a utilização de um modelo misto de treinamento, que permite a utilização de estruturas viscerais torácicas, em peça única, no interior de cavidades torácicas sintéticas. Outros ainda propuseram a utilização desse mesmo expediente na simulação dos órgãos herniados para a cavidade torácica, para treinar de forma mais realista sua redução. Sua grande vantagem é a identificação anatômica perfeita, mas com a desvantagem de deterioração progressiva da caixa torácica e do material de treinamento pela presença de material *ex vivo* e a impossibilidade de simulação intra-hospitalar. Essas desvantagens desaparecem à utilização do modelo proposto, uma vez que tanto esôfago quanto diafragma são descartáveis e sintéticos, enquanto toda a estrutura da caixa-preta é permanente e facilmente transportável (BARSNESS, 2013; TORRES, 2021).

Vale também destacar que, apesar da utilização de modelos vivos trazer ganho acadêmico factual – sensação visual e tátil de tecidos reais, vasos pulsáteis, sangramento e controle de sangramento, corte, coagulação, sutura e nós intracorpóreos, ambiente real com tamanho de instrumento, posicionamento portal e posição do coelho semelhantes aos descritos para toracoscopia neonatal -, a disponibilidade desses instrumentos “vivos” ainda é potencial, uma vez que existem dilemas éticos envolvidos e não existem modelos e programas facilmente disponíveis para treinamento (USÓN-CASAÚS, 2014).

5.3 CAIXA TORÁCICA

Para o desenvolvimento da caixa torácica, visando um modelo economicamente viável, diferente de alguns autores que construíram o arcabouço torácico externo através de impressoras 3D a custos elevados (BARSNESS, 2015; HONG, 2021; MOORHEAD, 2020; NEVILLE, 2022; WELLS,

2020), nesse projeto optou-se pela utilização de uma boneca já disponível no mercado. Fato fundamental para o sucesso do projeto foi a identificação de uma boneca não só com as características de um bebê de 3 kg, mas também com um tórax de tamanho ideal, com medidas semelhantes às apontadas pela reconstrução de uma tomografia computadorizada de uma bebê de 3 kg (Figuras 14, 15 e 16).

5.4 ÓRGÃOS ADJACENTES

Outra simplificação do modelo proposto foi a formatação de órgão torácicos adjacentes aos alvos, como coração e pulmões. Como já destacado, optou-se por modelos simples, utilizando balões de látex preenchidos por BS. Diferente de modelos de treinamento em lobectomias, ou até mesmo modelos de alto custo em HDC, com arcabouço cardiopulmonar complexo, com diferenciação de lobos pulmonares, vasos e brônquios, alguns com possibilidade até mesmo de acoplação à ventilação mecânica (HAIDARI, 2019; IWASAKI, 2003; ŠTUPNIK, 2018).

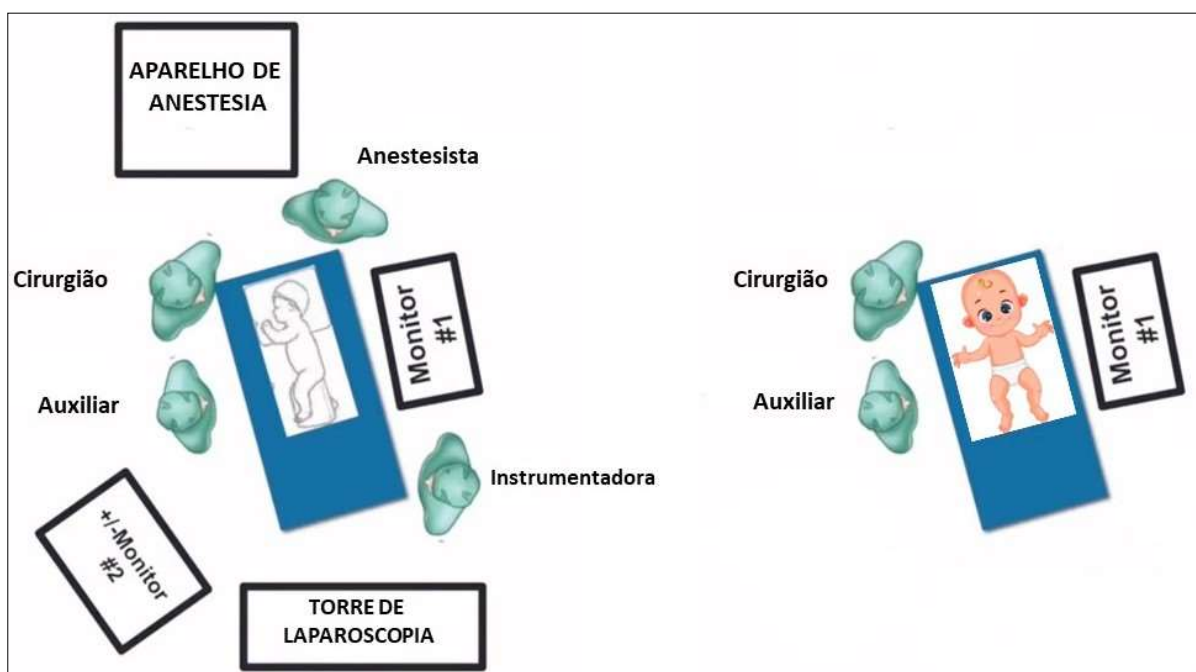
5.5 PORTAS DE ENTRADA E POSICIONAMENTO DO CIRURGIÃO

O passo seguinte na formação dessa “caixa preta” singular foi a construção das “portas de entrada”, ou vias de acesso, típicas da CMI e necessárias à visualização do interior da cavidade torácica, bem como à introdução dos instrumentos próprios ao treinamento. A primeira etapa, fundamental ao processo, foi a definição da localização dos portais.

As posições das portas de entrada foram baseadas na possibilidade de triangulação dos movimentos. Para satisfazer o treinamento para as duas técnicas, optou-se pela realização de doze orifícios de entrada, todos no hemitórax esquerdo, conforme distribuição já descrita. Optou-se por não testar comparativamente as portas de entrada, visando proporcionar a possibilidade de escolha ao cirurgião aprendiz, aspirando treinamento quanto à ergonomia e fluidez de movimentos (Figura 31).

É sabido que, em geral, na correção da AE, o acesso é realizado pelo hemitórax direito, com o paciente em decúbito lateral esquerdo, quase decúbito ventral, como no protótipo de Maricic *et al.* (2016). Já na HDC, estatisticamente, a maioria dos casos ocorre no hemitórax esquerdo, sendo o acesso com o paciente em decúbito lateral direito (OBATA, 2015).

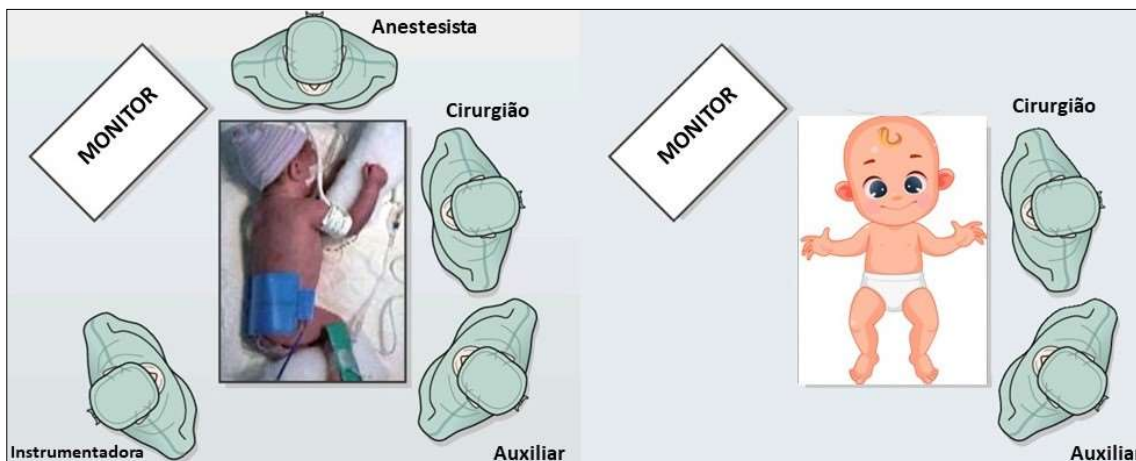
Figura 31 - Representação esquemática do posicionamento durante a correção da HDC. A) No centro cirúrgico; B) Durante o treinamento com o modelo proposto



Fonte: Autoria própria. Adaptado de Holcomb *et al.* (2020).

Como um dos diferenciais desse simulador é a possibilidade de praticar dois procedimentos torácicos diferentes e raros, foi necessária uma adaptação ao posicionamento real do recém-nascido, durante a simulação. Convencionou-se a posição do protótipo em decúbito dorsal para o treinamento. Semelhantemente à prática em centro cirúrgico, na HDC o cirurgião fica na cabeceira e o monitor nos pés do simulador; já na correção da AE, o aprendiz deve posicionar-se à esquerda e o monitor à direita do simulador (Figuras 31 e 32).

Figura 32 - Representação esquemática do posicionamento durante a correção da AE. A) No centro cirúrgico; B) Durante o treinamento com o modelo proposto

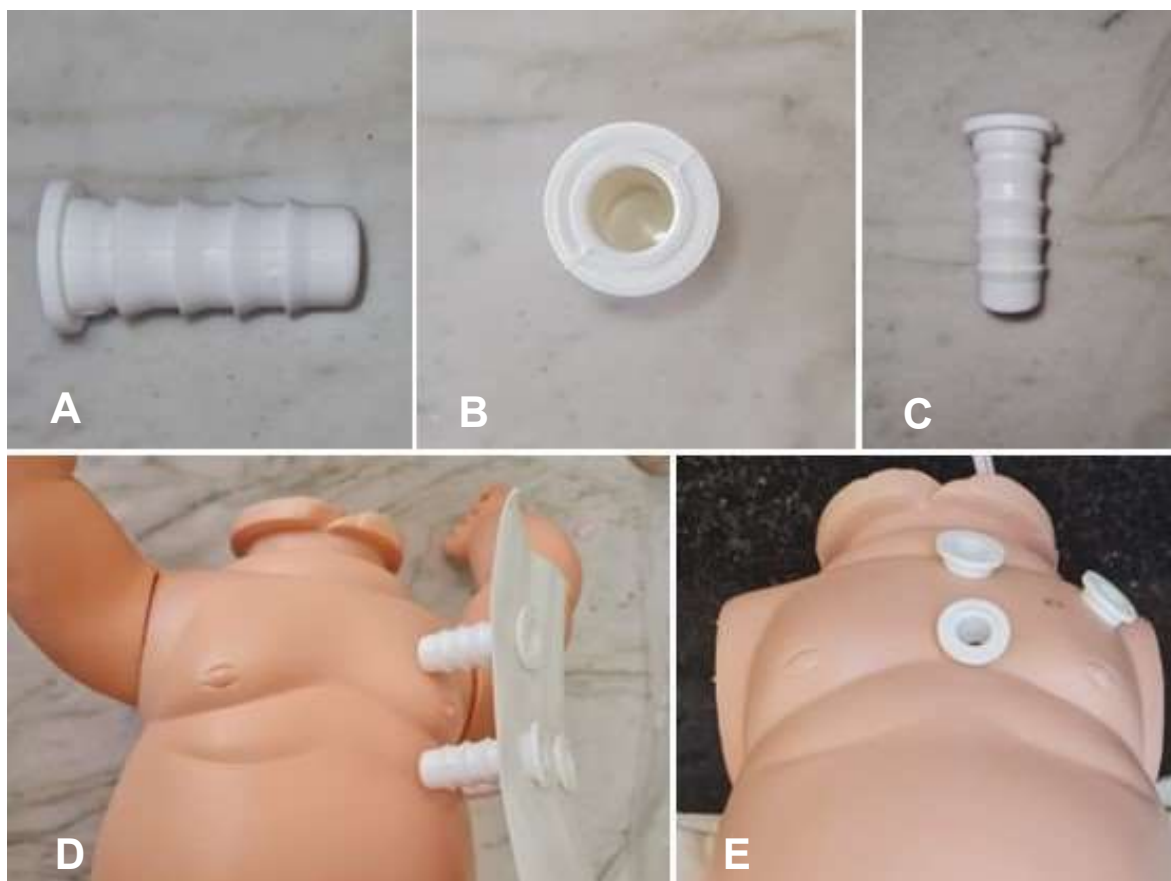


Fonte: Autoria própria. Adaptado de Holcomb *et al.* (2020).

O segundo alvo de estudos quanto às portas de entrada foi um modelo de trocanteres para o simulador. Um material frequentemente utilizado em caixas de treinamento convencionais é a napa. No entanto, são utilizados grandes segmentos do material, para permitir múltiplas perfurações, com lesões pequenas, mas progressivas ao material. Como impedimento a esse uso, tivemos a inviabilidade de fixação doméstica da napa aos pequenos orifícios e a inadvertida possibilidade de remoção da parede anterior do tórax e substituição pela napa, o que tiraria grande parte do aspecto “real” do modelo.

O primeiro material testado foi o plástico. Experimentou-se pequenos cilindros de plástico utilizados como adaptadores em torneiras e encanamentos. Tinham um diâmetro de cerca de 0,5 cm, suficiente para a passagem dos instrumentos, no entanto um comprimento de cerca de 2,5 cm, o que dificultava a mobilidade das pinças no interior da cavidade. Mesmo após ressecção de parte do seu comprimento com serra de aço, mantendo um comprimento mínimo de 1 cm, necessário para a fixação ao modelo, os instrumentos persistiam com limitação de mobilidade (Figura 33).

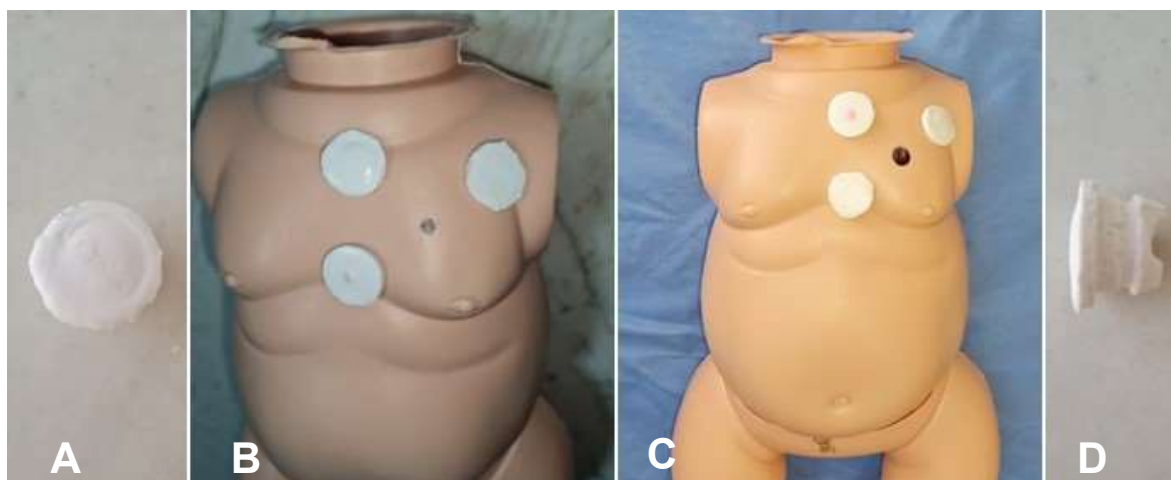
Figura 33 - Trocarre de plástico testado durante a elaboração do protótipo em ângulos diversos. A,B,C,D) Externamente; E) Após fixação



Fonte: Autoria própria.

Como alternativa, desenvolveu-se um trocarte com material mais elástico, como a BS. Utilizou-se diversas cores de BS, em especial a BS branca, com moldes e modelos diferentes. No entanto, a fixação da borracha ao simulador persistiu como um problema, uma vez que precisaria de um componente interno mais calibroso, um segmento intermediário da espessura da parede torácica, quase linear na boneca, e um componente externo novamente mais calibroso. A alternativa foi um trocarte fechado, em que os instrumentos perfuravam à entrada, contudo rapidamente o trocarte se “esfacelou” completamente. Teria a necessidade de troca constante (Figura 34).

Figura 34 - Trocarte de BS testado durante a construção do protótipo. A,D) Visão superior e lateral externamente; B,C) Após fixação



Fonte: Autoria própria.

Diante disso, uma vez que os trocanteres teriam a função principal de evitar a perda de dióxido de carbono da cavidade e, durante o treinamento não se tem esse problema, apesar de diferir em parte da realidade, optou-se por manter apenas os orifícios realizados com furadeira e estabilizados com lixa, com diâmetro médio de 0,5 cm, ao estilo “*stab incision*”, como em alguns simuladores fixos (IWASAKI, 2003; LJUHAR, 2018). Essa decisão proporcionou facilidade de movimentos e permitiu boa visualização, bem como acesso a todas as estruturas durante o treinamento.

Vale destacar que muitos autores utilizaram trocanteres reais em seus modelos, que apesar do benefício da semelhança à realidade, gera um custo adicional de material, além da dificuldade de fixação no protótipo, por conta do tamanho e peso (DEIE, 2017; MARICIC, 2016; NEVILLE, 2022; OBATA, 2015).

5.6 MECANISMOS DE ESTABILIZAÇÃO

Os modelos de esôfago e diafragma são estabilizados à caixa torácica conforme já descrito, de forma individual, podendo ser substituídos à medida em que são utilizados. Essa fixação temporária realizada através de ímãs e fitas de velcro, permite a manipulação dos “tecidos”, sem a mobilização das estruturas no interior já limitado da cavidade torácica simulada. Outros autores, como Deie *et al.* (2017), utilizaram alternativas diferentes, como retirar todo o arcabouço interno para substituir o modelo interno descartável.

5.7 AQUISIÇÃO DE IMAGEM E ILUMINAÇÃO

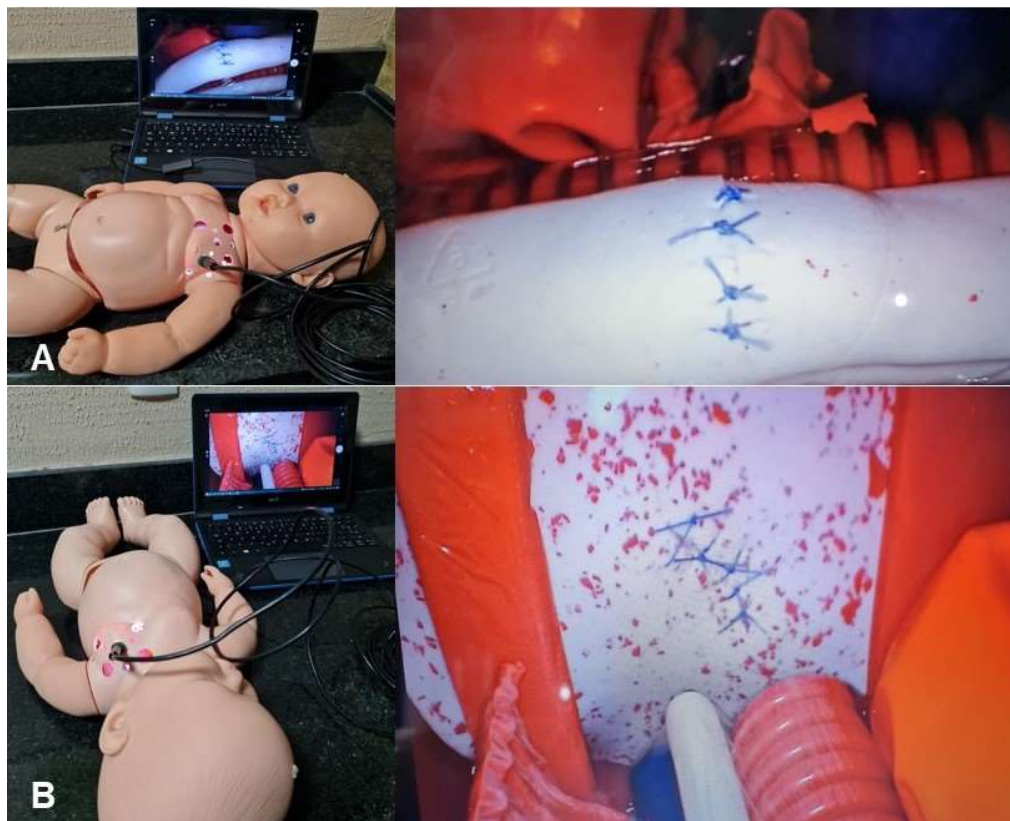
Outra etapa fundamental ao desenvolvimento do modelo foi a aquisição de imagem e a iluminação interna. Uma possibilidade seria a utilização de uma *web cam* e fitas de *led* fixadas internamente ao modelo, disposição bem frequente em caixas de treinamento maiores (TORRES, 2021). O principal empecilho para essa técnica seria a fixação da microcâmera internamente, uma vez que o espaço intratorácico é extremamente reduzido. Outra limitação seria a adequada disposição e fixação das fitas de led antes da fixação do arcabouço torácico interno, o que impediria a definição de posicionamento das fitas baseado na iluminação adequada e direcionada aos órgãos alvo de cada prática.

Diante da busca por mais proximidade à realidade do centro cirúrgico, buscou-se uma alternativa que fugisse das óticas convencionais de alto custo e que necessitam de material profissional para processar a imagem e prendem o treinamento ao centro cirúrgico ou a ambientes de simulação temporários, como os congressos (MARICIC, 2016; NEVILLE, 2022; WELLS, 2020), mas que proporcionasse uma imagem de qualidade. Testou-se algumas microcâmeras “espiãs”, contudo o seu tamanho e dificuldade de adaptação e resolução foram limitantes.

Encontrou-se no mercado uma microcâmera cilíndrica, de 4 mm de diâmetro, com boa resolução de imagem e com iluminação ajustável, como já detalhado, tecnicamente bem semelhante à cirurgia *in vivo* (Figura 26).

Dessa forma, a câmera já com a iluminação é inserida através de uma porta de entrada, permitindo a iluminação e aquisição de imagens para o treinamento dos dois procedimentos propostos (Figura 35). É possível o auxílio de um colega para mobilizar a câmera durante a prática, como realizado no paciente vivo, mas com uma pequena adaptação, através da colocação da ponta de um balão cilíndrico preso à ponta da câmera, ocorre um aumento do atrito contra o orifício de entrada, o que permite a permanência da câmera imóvel, sendo mobilizada pelo próprio cirurgião principal. Isso permite o aprendizado doméstico e mesmo sem um auxiliar.

Figura 35 - Visão externa e interna de treinamento em toracoscopia neonatal. A) Em AE; B) Em HDC



Fonte: Autoria própria.

5.8 CUSTOS DO PROTÓTIPO

Vale ressaltar que o modelo de simulação proposto, tirando todo o material utilizada para os testes, tem custo de produção em torno de apenas 200 reais, conforme apresentado na Tabela 2. E os modelos esofágico e diafragmático descartáveis, tem um custo estimado de 3 e 6 reais, respectivamente, por peça. Quando comparamos com a literatura, os custos de produção do modelo são muito inferiores aos simuladores de alta tecnologia, que tem custo atual de uma caixa torácica podendo chegar a 60 mil reais e só o pulmão descartável, a 2,5 mil reais. Os valores são mais próximos aos de modelos com qualidade e semelhança anatômica inferiores, que custam cerca de 70 reais (conversão monetária admitindo cotação atual do dólar) (BÖKKERINK, 2021; HONG, 2021; NEVILLE, 2022; REINO-PIRES, 2018).

Tabela 2 - Custos do modelo desenvolvido

MATERIAIS	VALOR (R\$)
Boneca de plástico	90,00
Câmera endoscópica	80,00
Borracha de silicone	9,00
Materiais de construção (pedaços de madeira/compensado, pregos, parafusos, eletrodutos corrugados)	10,00
Materiais de papelaria (balões de látex, cola em bastão, ímãs, velcros, canudo, plástico filme, fita dupla face)	11,00
TOTAL	200,00

Fonte: Autoria própria.

5.9 TREINAMENTO PARA AE E HDC

Outro destaque importante é que se encontrou na literatura apenas um outro modelo de simulação que contemplava o treinamento tanto para AE quanto para HDC. Esse modelo, produzido por Bökkerink *et al.* (2021), apresenta como principais vantagens o baixo custo e a simples reprodutibilidade, uma vez que simula os cotos esofágicos e o diafragma apenas com balões de látex fixados em uma caixa de treinamento convencional. E sua principal desvantagem é justamente a ausência de mínima aparência da realidade, o que o projeto proposto supera em larga escala.

A AE e a HDC, apesar de malformações congênitas raras, estão presentes de forma rotineira nas maternidades de referência e, com o desenvolvimento da CMI, os residentes e cirurgiões mais jovens devem estar habilitados para o seu tratamento. Inúmeros autores corroboram a necessidade desse treinamento em modelos animais e sintéticos, antes de partir para os recém-nascidos (DEIE, 2017; NAIR, 2019; WELLS, 2020).

Entretanto, poucos modelos estão disponíveis no mercado para treinamento domiciliar e/ou hospitalar. Alguns simulam de forma muito realística, mas apenas em centros de referência mundial; outros promovem simulação

domiciliar, mas com modelos do tipo “faça você mesmo”, que pouco lembram a realidade (DEIE, 2017; NAIR, 2019; WELLS, 2020). A proposta dos autores foi desenvolver um modelo intermediário, que contribua na formação continuada, com custos acessíveis e simulação próxima à realidade.

5.10 CARACTERÍSTICAS DO MODELO PROPOSTO

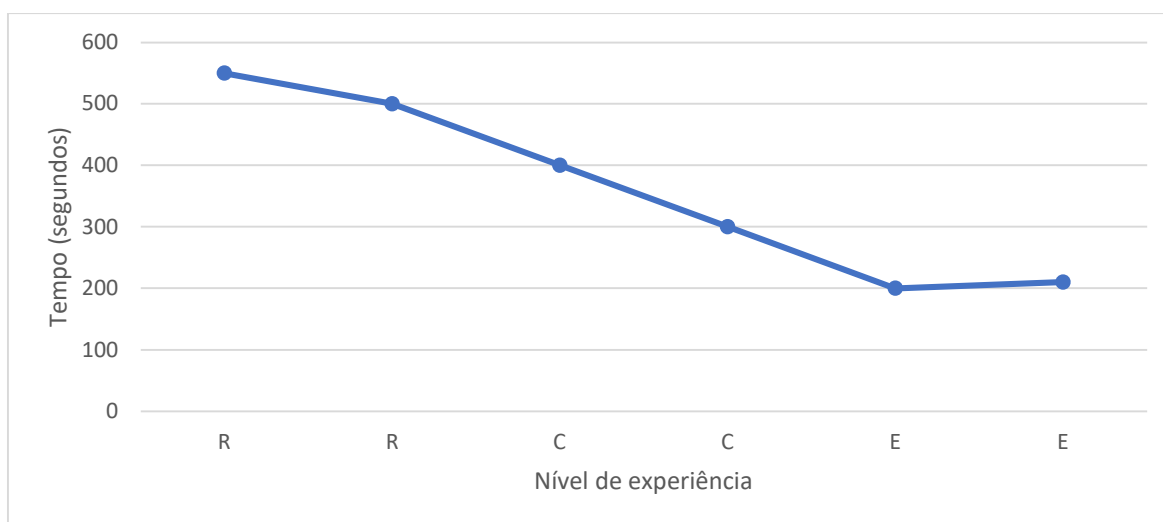
O modelo proposto é totalmente sintético e reutilizável; não é do tipo “faça você mesmo” e nem totalmente confeccionado em impressora 3D (o que garante um custo mais acessível); de fácil manuseio e mobilização, permite simular o espaço real do tórax neonatal, a manipulação do conteúdo e a sutura interna.

As habilidades desenvolvidas são principalmente o trabalho em pequenos espaços e a sutura intracorpórea. Permite também o treinamento da sutura externa, com nó deslizante, adicionando mais um tempo cirúrgico importante. Entretanto, pela limitação de custos, materiais e viabilidade para maior disponibilização do modelo, o passo de dissecação de tecidos adjacentes não faz parte da simulação.

5.11 AVALIAÇÃO DO MODELO POR PROFISSIONAIS

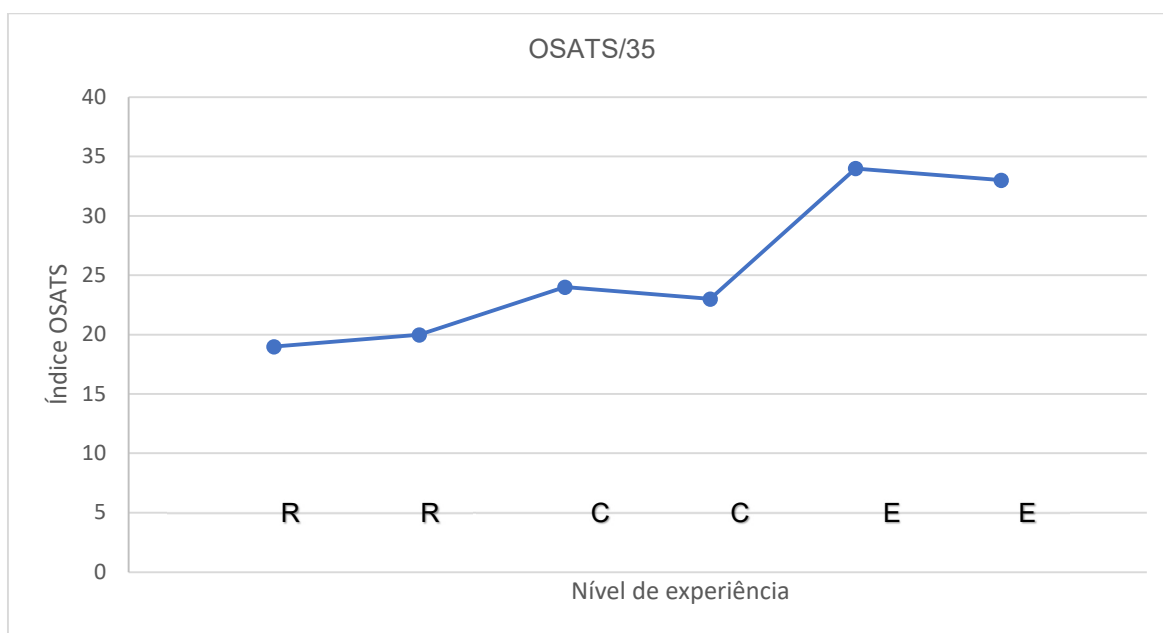
A terceira etapa de testes, consistiu na avaliação do modelo por cirurgiões com nível de experiência básica, intermediária e avançada. Na primeira fase, durante a realização da tarefa, os cirurgiões voluntários foram avaliados quanto ao tempo para completar a missão e conforme a escala de habilidades OSATS (Figuras 36 e 37).

Figura 36 - Tempo necessário para cada cirurgião completar a tarefa, sendo: R – residentes; C – cirurgiões pediátricos; E – cirurgiões pediátricos experientes.



Fonte: Autoria própria.

Figura 37– Índice OSATS referente a cada cirurgião durante a tarefa, sendo: R – residentes; C – cirurgiões pediátricos; E – cirurgiões pediátricos experientes.



Fonte: Autoria própria.

Todos os cirurgiões completaram a tarefa proposta. Conforme esperado, os residentes em cirurgia pediátrica apresentaram tempo superior e índice OSATS inferior, mas muito próximos dos cirurgiões pediátricos com nível

intermediário. Já os cirurgiões pediátricos experientes apresentaram tempo inferior e índice OSATS superior aos demais grupos.

Os resultados corroboram a literatura, uma vez que na maioria dos processos de validação, independente da área cirúrgica, o grupo mais experiente obtém resultados superiores, confirmando a aquisição de habilidades como tempo e fluidez na realização de tarefas propostas, com a experiência (MARICIC, 2016; NEVILLE, 2022; AL JANABI, 2019).

Essa avaliação global validada é utilizada em áreas diversas, desde a análise de aquisição de habilidades de sutura em estudantes, até análise de modelos de treinamento em laparoscopia/toracoscopia, inclusive em cirurgia pediátrica (WILSON, 2021; PALMISANI, 2022).

A segunda fase da terceira etapa consistiu na resposta ao formulário relativo ao conjunto do modelo esofágico e do modelo diafragmático (Tabela 3). As respostas da escala *Likert*, independente do modelo, apresentaram médias sempre superiores a 4, desvios padrões próximos a zero, mediana mínima de 4 e apenas um valor mínimo inferior a 4 (uma nota 3 referente à aparência e dimensões internas do modelo esofágico), evidenciando a excelente aceitação dos modelos propostos, tanto com relação à anatomia quanto à aplicabilidade para treinamento.

Tabela 3 - Escala do tipo Likert, referente aos modelos esofágico e diafragmático

QUESTÕES ACERCA DOS MODELOS	Esofágico		Diafragmático	
	Média (DP)	Md (min- máx)	Média (DP)	Md (min- máx)
1 - Aparência e dimensões externas do modelo	5,0 (0,0)	5,0 (5-5)	5,0 (0,0)	5,0 (5-5)
2 - Aparência e dimensões internas do modelo	4,2 (0,8)	4,0 (3-5)	4,3 (0,5)	4,0 (4-5)
3 - Anatomia do órgão alvo	4,7 (0,5)	5,0 (4-5)	4,7 (0,5)	5,0 (4-5)
4 - Dimensões do órgão alvo	4,3 (0,5)	4,0 (4-5)	4,5 (0,6)	4,5 (4-5)
5 - Aplicabilidade do modelo para treinamento	5,0 (0,0)	5,0 (5-5)	5,0 (0,0)	5,0 (5-5)

Legenda: DP: desvio padrão; Md – mediana; min: mínimo; máx: máximo.

Fonte: Autoria própria.

Diversos autores já aplicaram métodos semelhantes para validação de seus modelos de treinamento, na maioria das vezes com perguntas relativas à experiência em CMI, à semelhança anatômica do modelo proposto, possíveis melhorias e sua aplicabilidades prática (MARICIC, 2016; LJUHAR, 2018; OBATA, 2015; WELLS, 2020).

5.12 LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS

Algumas limitações do modelo de simulação apresentado são bem estabelecidas, como a pouca verossimilhança cromática dos modelos de esôfago e diafragma, dadas as cores das BS ideais; a impossibilidade de manter as posições ideais e reais dos trocanteres para cada malformação simulada, devido à busca por um modelo único de simulação; a utilização de materiais de baixo custo para simular as estruturas adjacentes aos modelos descartáveis, visando viabilizar financeiramente o projeto; e a necessidade de utilizar instrumentos de 3 mm próprios para CMI, que apesar de não compor o protótipo, são fundamentais para a sua utilização.

A utilização de simuladores como o modelo proposto é uma maneira satisfatória de ampliar o conhecimento e habilidades em escala global, facilitando a aquisição de prática cirúrgica em doenças raras e contribuindo para o tratamento e o cuidado de pacientes acometidos dessas malformações congênitas, considerando o seu baixo custo e reprodutibilidade.

É fundamental que esse processo de desenvolvimento de simulação seja contínuo, permitindo a lapidação de etapas e materiais empregados na construção dos protótipos, viabilizando o aprimoramento dos aprendizes bem como ampliando o treinamento em outras doenças raras.

6 CONCLUSÃO

Foi produzido um modelo de treinamento em toracoscopia neonatal totalmente sintético, de média fidelidade e baixo custo, para o desenvolvimento de habilidades em doenças raras como AE e HDC. O modelo foi construído com a utilização de componentes de fácil acesso, apresenta marcos anatômicos internos e externos semelhantes à realidade e é adaptado ao treinamento doméstico e desassistido. Foi também possível realizar processo inicial de validação do protótipo desenvolvido.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. F. **A Bíblia Sagrada** (revista e atualizada no Brasil). 2. ed. São Paulo: SBB, 1993.
- BARROSO, C.; CORREIA-PINTO, J. Perioperative Complications of Congenital Diaphragmatic Hernia Repair. **European Journal of Pediatric Surgery**, v. 28, n. 02, p. 141–147, 19 abr. 2018a.
- BARROSO, C.; CORREIA-PINTO, J. Thoracoscopic repair of congenital diaphragmatic hernia: review of the results. **Minerva Pediatrics**, v. 70, n. 3, maio 2018b.
- BARSNESS, K. A. et al. Evaluation of Three Sources of Validity Evidence for a Synthetic Thoracoscopic Esophageal Atresia/Tracheoesophageal Fistula Repair Simulator. **Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques**, v. 25, n. 7, p. 599–604, jul. 2015.
- BARSNESS, K. A.; ROONEY, D. M.; DAVIS, L. M. Collaboration in simulation: The development and initial validation of a novel thoracoscopic neonatal simulator. **Journal of Pediatric Surgery**, v. 48, n. 6, p. 1232–1238, jun. 2013.
- BAWAZIR, O.; BAWAZIR, A. Congenital diaphragmatic hernia in neonates: Open versus thoracoscopic repair. **African Journal of Paediatric Surgery**, v. 18, n. 1, p. 18, 2021.
- BERGMEISTER, K. D. et al. Simulating Surgical Skills in Animals: Systematic Review, Costs & Acceptance Analyses. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 7, 30 set. 2020.
- BOETTCHER, J. et al. Spaced Education Improves the Retention of Laparoscopic Suturing Skills: A Randomized Controlled Study. **European Journal of Pediatric Surgery**, v. 30, n. 02, p. 193–200, 27 abr. 2020.
- BÖKKERINK, G. M. et al. Validation of low-cost models for minimal invasive surgery training of congenital diaphragmatic hernia and esophageal atresia. **Journal of Pediatric Surgery**, v. 56, n. 3, p. 465–470, mar. 2021.
- BOYAJIAN, M. K. et al. A 3D printed suturing trainer for medical students. **The Clinical Teacher**, v. 17, n. 6, p. 650–654, 26 dez. 2020.
- CAMPOS, M. E. C. et al. Validation of the Objective Structured Assessment of Technical Skill in Brasil. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 66, n. 3, p. 328 – 333, mar. 2020.
- CASAS-MURILLO, C. et al. 3D-printed anatomical models of the cystic duct and its variants, a low-cost solution for an in-house built simulator for laparoscopic surgery training. **Surgical and Radiologic Anatomy**, v. 43, n. 4, p. 537–544, 1 abr. 2021.

CHO, E. et al. Characterization of Mechanical and Dielectric Properties of Silicone Rubber. **Polymers**, v. 13, n. 11, p. 1831, 1 jun. 2021.

DEIE, K. et al. Preliminary Study of Video-Based Pediatric Endoscopic Surgical Skill Assessment Using a Neonatal Esophageal Atresia/Tracheoesophageal Fistula Model. **Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques**, v. 27, n. 1, p. 76–81, jan. 2017.

DINGEMANN, C. et al. ERNICA Consensus Conference on the Management of Patients with Esophageal Atresia and Tracheoesophageal Fistula: Diagnostics, Preoperative, Operative, and Postoperative Management. **European Journal of Pediatric Surgery**, v. 30, n. 04, p. 326–336, 2 ago. 2020.

DREVIN, G.; ANDERSSON, B.; SVENSSON, J. F. Thoracoscopy or Thoracotomy for Esophageal Atresia. **Annals of Surgery**, v. 274, n. 6, p. 945–953, dez. 2021.

H Aidari, T.; KONGE, L.; PETERSEN, R. H. Simulation for the video-assisted thoracic surgery surgeon. **Video-Assisted Thoracic Surgery**, v. 4, p. 12–12, maio 2019.

HOLCOMB, G.; MURPHY, J.P; PETER, S. **Holcomb and Ashcraft's Pediatric Surgery**. United States, USA: Elsevier, 2019. *E-book* (1316p.) color. ISBN: 9780323549769.

HONG, D. et al. Development of patient specific, realistic, and reusable video assisted thoracoscopic surgery simulator using 3D printing and pediatric computed tomography images. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 6191, 18 dez. 2021.

IWASAKI, A. A model to assist training in thoracoscopic surgery. **Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery**, v. 2, n. 4, p. 697–701, dez. 2003.

LAL, D. R. et al. Perioperative management and outcomes of esophageal atresia and tracheoesophageal fistula. **Journal of Pediatric Surgery**, v. 52, n. 8, p. 1245–1251, ago. 2017.

LEE, S. Basic Knowledge of Tracheoesophageal Fistula and Esophageal Atresia. **Advances in Neonatal Care**, v. 18, n. 1, p. 14–21, fev. 2018.

LJUCHAR, D. et al. The laparoscopic inguinal and diaphragmatic defect (LIDD) model: a validation study of a novel box trainer model. **Surgical Endoscopy**, v. 32, n. 12, p. 4813–4819, 15 dez. 2018.

MARICIC, M. A.; BAILEZ, M. M.; RODRIGUEZ, S. P. Validation of an inanimate low cost model for training minimal invasive surgery (MIS) of esophageal atresia with tracheoesophageal fistula (AE/TEF) repair. **Journal of Pediatric Surgery**, v. 51, n. 9, p. 1429–1435, set. 2016.

MONDA, S. M. et al. Development and Validity of a Silicone Renal Tumor Model for Robotic Partial Nephrectomy Training. **Urology**, v. 114, p. 114–120, abr. 2018.

MOORHEAD, A. A. et al. Development of an instrumented thoracoscopic surgical trainer for objective evaluation of esophageal atresia/tracheoesophageal fistula repair. **Medical & Biological Engineering & Computing**, v. 58, n. 3, p. 601–609, 11 mar. 2020.

NAIR, D. et al. Critical design and validation considerations for the development of neonatal minimally invasive surgery simulators. **Journal of Pediatric Surgery**, v. 54, n. 11, p. 2448–2452, nov. 2019.

NAIR, D. et al. Is Technical Expertise Necessary to Assess Technical Expertise? Let's Ask the Kids. **Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques**, v. 31, n. 12, p. 1363–1366, 1 dez. 2021.

NEVILLE, J. J. et al. Development and validation of a novel 3D-printed simulation model for open oesophageal atresia and tracheo-oesophageal fistula repair. **Pediatric Surgery International**, v. 38, n. 1, p. 133–141, 2 jan. 2022.

OBATA, S. et al. An Endoscopic Surgical Skill Validation System for Pediatric Surgeons Using a Model of Congenital Diaphragmatic Hernia Repair. **Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques**, v. 25, n. 9, p. 775–781, set. 2015.

PALMISANI, F. et al. The “chicken-leg anastomosis”: Low-cost tissue-realistic simulation model for esophageal atresia training in pediatric surgery. **Frontiers in Pediatrics**, v. 10, 30 ago. 2022.

PÉREZ-MERINO, E. M. et al. Development of an Optimal Diaphragmatic Hernia Rabbit Model for Pediatric Thoracoscopic Training. **Experimental Animals**, v. 63, n. 1, p. 93–98, 2014.

RAMAKRISHNAN, R. et al. Trends, correlates, and survival of infants with congenital diaphragmatic hernia and its subtypes. **Birth Defects Research**, v. 110, n. 14, p. 1107–1117, 15 ago. 2018.

REINO-PIRES, P.; LOPEZ, M. Validation of a Low-Cost Do-It-Yourself Model for Neonatal Thoracoscopic Congenital Diaphragmatic Hernia Repair. **Journal of Surgical Education**, v. 75, n. 6, p. 1658–1663, nov. 2018.

RIDEOUT, D. A.; WULKAN, M. Thoracoscopic Neonatal Congenital Diaphragmatic Hernia Repair: How We Do It. **Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques**, v. 31, n. 10, p. 1168–1174, 1 out. 2021.

ŠTUPNIK, T.; STORK, T. Training of video-assisted thoracoscopic surgery lobectomy: the role of simulators. **Shanghai Chest**, v. 2, p. 52–52, 2018.

TAKAZAWA, S. et al. Video-Based Skill Assessment of Endoscopic Suturing in a Pediatric Chest Model and a Box Trainer. **Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques**, v. 25, n. 5, p. 445–453, maio 2015.

TORRES, A. et al. Development and validation of a new laparoscopic endotrainer for neonatal surgery and reduced spaces. **ABCD. Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva (São Paulo)**, v. 33, n. 4, 2020.

USÓN-CASAÚS, J. et al. Evaluation of a Bochdalek Diaphragmatic Hernia Rabbit Model for Pediatric Thoracoscopic Training. **Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques**, v. 24, n. 4, p. 280–285, abr. 2014.

VAN VELTHOVEN, R. F.; HOFFMANN, P. Methods for laparoscopic training using animal models. **Current Urology Reports**, v. 7, n. 2, p. 114–119, abr. 2006.

WAGNER, R. et al. Thoracoscopic Repair of Congenital Diaphragmatic Hernia. **European Journal of Pediatric Surgery**, v. 30, n. 02, p. 137–141, 8 abr. 2020.

WELLS, J. M. et al. End-User Input into the Design and Validation of a Synthetic Thoracoscopic Esophageal Atresia/Tracheo-Esophageal Fistula Simulator. **Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques**, v. 30, n. 6, p. 685–691, 1 jun. 2020.

WILSON, C. A. et al. Working Towards Competence: A Novel Application of Borderline Regression to a Task-Specific Checklist for Technical Skills in Novices. **Journal of Surgical Education**, v. 78, n. 6, p. 2052–2062, nov. 2021.

ANEXO

ANEXO A - Escala de Habilidades OSATS

Escala de Classificação Global de Instrumento de Avaliação Objetiva e Estruturada de Habilidades Técnicas Operatórias
(Global Rating Scale of Objective Structured Assessment of Technical Skills)

Cuidados com o Tecido (Respect for tissue)	1. Utilizou frequentemente de força desnecessária sobre o tecido ou causou danos ao mesmo pelo uso inapropriado dos instrumentos. (Frequently used unnecessary force on tissue or caused damage by inappropriate use of instruments.)	2	3. Manipulou cuidadosamente o tecido, mas ocasionalmente, causou danos inadvertidos. (Careful handling of tissue but occasionally caused inadvertent damage.)	4	5. Consistentemente manipulou o tecido de forma apropriada, causando danos mínimos. (Consistently handled tissues appropriately with minimal damage.)
Economia de Tempo e Movimentos (Time and motion)	1. Muitos movimentos desnecessários. (Many unnecessary moves.)	2	3. Movimentos eficientes, mas alguns desnecessários. (Efficient time/motion but some unnecessary moves)	4	5. Evidente economia de movimentos e máxima eficiência. (Economy of movement and maximum efficiency.)
Manuseio dos Instrumentos (Instrument handling)	1. Constantemente faz movimentos hesitantes ou desajeitados com os instrumentos. (Repeatedly makes tentative or awkward moves with instruments.)	2	3. Uso competente dos instrumentos, embora, ocasionalmente, apresenta-se travado ou desajeitado. (Competent use of instruments although occasionally appeared stiff or awkward.)	4	5. Movimentos ajustados e fluidos com os instrumentos. (Fluid moves with instruments and no awkwardness.)
Conhecimento dos Instrumentos (Knowledge of instruments)	1. Frequentemente usou ou solicitou instrumentos inapropriados. (Frequently asked for the wrong instrument or used an inappropriate instrument.)	2	3. Conhecia o nome da maioria dos instrumentos e os utilizou adequadamente para a tarefa. (knew the names of most instruments and use appropriate instrument for the task.)	4	5. Evidentemente familiarizado com os instrumentos requisitados e com os seus respectivos nomes. (Obviously familiar with the instruments required and their names.)
Fluxo operatório e antecipação no planejamento cirúrgico (Flow of operation and forward planning)	1. Frequentemente interrompeu o procedimento operatório ou necessitou discutir sobre o próximo passo. (Frequently stopped operating or needed to discuss next move.)	2	3. Demonstrou capacidade de antecipação no planejamento operatório com progressão contínua do procedimento. (Demonstrate ability for forward planning with steady progression of operative procedure.)	4	5. Evidentemente planejou o curso da operação, sem esforços para avançar no passo-a-passo da cirurgia. (Obviously planned course of operation with effortless flow from one move to the next.)
Uso de Auxiliares (Use of assistants)	1. Consistentemente alocou mal os auxiliares ou falhou ao utilizá-los. (Consistently placed assistants poorly or failed to use assistants.)	2	3. Bom uso dos auxiliares na maior parte do tempo. (Good use of assistants most of the time.)	4	5. Utilizou os auxiliares estrategicamente, com o máximo proveito durante todo o tempo. (Strategically used assistant to the best advantage at all times.)
Conhecimento do Procedimento Operatório Específico (Knowledge of specific procedure)	1. Conhecimento deficiente. Necessitou de instrução específica na maioria dos passos operatórios. (Deficient knowledge. Needed specific instruction at most operative steps.)	2	3. Conhecia todos os aspectos importantes da operação. (Knew all important aspects of the operation.)	4	5. Demonstrou familiaridade em todos os aspectos da operação. (Demonstrate familiarity with all aspects of the operation.)

Fonte: Campos *et al.* (2020).