



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS-UNICHRISTUS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM  
TECNOLOGIA MINIMAMENTE INVASIVA E SIMULAÇÃO NA ÁREA DA  
SAÚDE/TEMIS**

**JOÃO RENATO FIGUEIREDO SOUZA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DE TÉCNICA  
ENDOVASCULAR PARA APRENDIZADO DE  
NEURORRADIOLOGIA**

**FORTALEZA-CE**

2020

**JOÃO RENATO FIGUEIREDO SOUZA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DE TÉCNICA  
ENDOVASCULAR PARA APRENDIZADO DE  
NEURORRADIOLOGIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Tecnologia Minimamente Invasiva e Simulação na Área de Saúde, do Centro Universitário Christus, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre nesta área. Área de concentração: Simulação em ensino e inovação na área de saúde.

**Orientadora:** Profa. Dra. Juliana Paiva Marques Lima Rolim

**Co-orientadores:** Prof. Dr. Edgar Marçal de Barros Filho e Carlos Eduardo Barros Jucá

**FORTALEZA-CE  
2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Centro Universitário Christus - Unichristus  
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do  
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S719d Souza, João Renato Figueiredo.  
Desenvolvimento de um simulador de técnica endovascular  
para aprendizado de neurorradiologia / João Renato Figueiredo  
Souza. - 2020.  
50 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Centro Universitário Christus -  
Unichristus, Mestrado em Tecnologia Minimamente Invasiva e  
Simulação na Área de Saúde, Fortaleza, 2020.  
Orientação: Profa. Dra. Juliana Paiva Marques Lima Rolim.  
Área de concentração: Neurorradiologia.

1. procedimentos endovasculares. 2. educação. 3. simulação.  
I. Título.

CDD 610.28

**JOÃO RENATO FIGUEIREDO SOUZA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DE TÉCNICA  
ENDOVASCULAR PARA APRENDIZADO DE  
NEURORRADIOLOGIA**

Trabalho submetido à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Tecnologia Minimamente Invasiva, do Centro Universitário Christus, como requisito parcial à aprovação da Dissertação de Mestrado em Tecnologia Minimamente Invasiva e Simulação na Área de Saúde.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Paiva Marques Lima Rolim

Aprovado em 20/05/2020.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Juliana Paiva Marques Lima Rolim (Orientadora)  
Centro Universitário Christus

---

Prof. Dr. Jose Arnaldo Arruda

---

Prof. Dr. Grijalva Otávio Ferreira da Costa.

Dedico este trabalho aos meus pais, Natalina Aurora Figueiredo Souza e Edgar Souza (*in memorium*) que me educaram com estímulo de sempre aumentar os meus conhecimentos, e que este seria o único bem que não se perde.

À minha esposa Maria Auxiliadora Recamonde Souza e à minha filha, Sofia Recamonde Souza, que me incentivaram a estudar e realizar este projeto.

## AGRADECIMENTOS

À Profa. Doutora Juliana Paiva Lima, minha orientadora, que com sabedoria, conhecimento, paciência e gentileza soube me orientar e conduzir este trabalho.

Ao Doutor Eduardo Jucá por ter acreditado em mim e me estimulado a desenvolver este trabalho ajudando em momentos difíceis.

Ao Professor Edgar Marçal que desde o início do projeto incentivou, incluiu ideias, ajudou na formulação e confecção do simulador sendo coautor deste.

À Arquiteta Larissa Recamonde que realizou o projeto arquitetônico do simulador com grande esmero e teve paciência com minhas múltiplas opiniões.

Ao marceneiro Josenildo Nascimento Cardeal pela sua habilidade, profissionalismo e ideias para confeccionar a parte externa do simulador.

Ao Designer Gráfico João Felipe pela colaboração no *designer* da parte circulatória com compatibilidade para a impressora 3D.

Ao Dr. Edson Lopes Filho, chefe do Serviço de Neurologia do Hospital Geral de Fortaleza, por ter permitido e incentivado a realização deste projeto.

Ao colega Dr. Ricardo Sá Barreto, pela ajuda na confecção da maquete do simulador.

Ao Dr. Sergio Mello, neurocirurgião, meu colega de trabalho, que me incentivou a me ajudou nas horas de dificuldades.

À Professora Ms. Milena Capelo, pela ajuda nos momentos transmitindo sabedoria e profissionalismo e contribuição para correção desta dissertação.

Ao Mestre Dr. Ricardo Sá Barreto, pela ajuda na confecção do simulador.

Aos funcionários da Hemodinâmica do Hospital Geral de Fortaleza.

Aos professores que compuseram a banca Prof. Dr. Charles Jean Gomes de Mesquita e Profa. Dra. Ingrid Correia Nogueira pelas observações e contribuição para a melhoria do trabalho na qualificação da dissertação.

Aos Prof. Dr. Jose Arnaldo Arruda e Prof. Dr. Grijalva Otávio Ferreira da Costa que integraram a banca de defesa, juntamente com minha orientadora, contribuindo que os ajustes finais deste trabalho.

## RESUMO

Souza, J.R.F. Simulador de técnica endovascular para aprendizado de Neurorradiologia

[Dissertação]. Fortaleza: Centro Universitário Christus, 2020.

O acidente vascular cerebral agudo (AVC) é reconhecido como a terceira causa de morte em todo o mundo e uma oclusão arterial aguda, é o principal mecanismo subjacente ao AVC isquêmico agudo. As doenças cerebrovasculares são tratadas por intervenções endovasculares intracranianas utilizando técnicas intravasculares minimamente invasivas, realizando técnicas de neuroimagem. Para isso, treinamento prático, nessa área, é tarefa necessária. Contudo, a segurança do paciente é um fator importantíssimo, implicando na preferência da simulação como técnica ideal. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um Simulador de técnica endovascular para aprendizado de Neurorradiologia. A metodologia consistiu no desenvolvimento de um simulador usando a tecnologia de impressão tridimensional 3D. Reuniões foram realizadas entre o especialista em neurorradiologista e programadores para confecção do simulador. O desenvolvimento do simulador foi realizado em três fases: desenho do sistema arterial, desenho do protótipo do sistema arterial em computação gráfica e Confecção do simulador do sistema arterial em 3D. O simulador foi testado por profissional expertise em neurorradiologia e está pronto para ser testado por residentes, podendo possibilitar ao aluno aprender por simulação que reproduzam, de forma mais realista possível, a situação a ser posteriormente vivenciada, utilizando uma ferramenta concreta.

**PALAVRAS CHAVE:** procedimentos endovasculares, educação, simulação.

## **ABSTRACT**

Souza, J.R.F. Simulator of endovascular technique for learning of Neuroradiology [Dissertation]. Fortaleza: Christus University Center, 2020.

Stroke is recognized as the third leading cause of death in the world and an acute arterial occlusion is the main mechanism underlying acute ischemic stroke. Neurovascular diseases are treated by intracranial endovascular interventions using minimally invasive intravascular techniques, using neuroimaging techniques. Therefore, practical training in this area is a necessary task. However, patient safety is a very important factor, requiring simulation as an ideal technique. In this context, the purpose of this study was to develop an endovascular technique simulator for learning in neuroradiology. The methodology consisted in the development of a simulator using the technique of 3D printing. Meetings were held between specialists in neuroradiology and programmers to make the simulator. The simulator was developed in three steps: arterial system drawing, prototype design of the artery system in graphics computers and 3D arterial system production. The simulator was tested by a neuroradiology specialist and ready to be tested by residents, being able to enable the student to learn by simulation that reproduce, in the most realistic way possible, the situation to be later experienced, using a factual tool.

**KEY WORD:** endovascular procedures / study / simulation

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Desenho manual que orientou a manufatura da maquete do simulador.....	25
Figura 2A	- Projeto arquitetônico do simulador.....	26
Figura 2B	- Estojo do simulador, carregado por pessoa de 1,70 m.....	27
Figura 3A	- Desenho em 3D mostrando uma visão frontal da estrutura externa de suporte e transporte.....	28
Figura 3B	- Desenho em 3D mostrando uma visão lateral direita da estrutura externa de suporte e transporte.....	28
Figura 3C	- Desenho em 3D mostrando uma visão lateral esquerda da estrutura externa de suporte e transporte.....	28
Figura 4A	- Sistema arterial de cateterismo (Frank H. NETTER).....	30
Figura 4B	- Maquete inicial.....	30
Figura 5A	- Desenho inicial adquirido no <a href="http://www.turbosquid.com">www.turbosquid.com</a> .....	31
Figura 5B	- Redesenho da extremidade caudal.....	31
Figura 5C	- Redesenho da extremidade cranial.....	31
Figura 5D	- Material flexível.....	31
Figura 6	- Planta baixa do projeto arquitetônico do simulador com denominação dos itens.....	33
Figura 7	- Movimentos horizontais e rotacionais.....	35
Figura 8	- Desenho esquemático da posição de simulados dentro do aparelho de hemodinâmica.....	36
Figura 9	- Crossa da Aorta com a sequência de cateterização.....	37
Figura 9A	- Vertebral direita.....	37
Figura 9B	- Carotida comum direita.....	37
Figura 9C	- Carotida comum esquerda.....	37
Figura 9D	- Vertebral esquerda.....	37
Figura 10	- Montagem do cateter Simpons Método 1- Utilizando um dos troncos supra aórticos .....	38
Figura 11	- Montagem do caterter Simons Método 2 - Crossa da Aorta.....	39
Figura 12	- Simulador do sistema arterial a mesa de hemodinâmica e operador na posição de uso com tela mostrando a imagem do sistema arterial em fluoroscopia.....	40
Figura 13	- Operador à direita acessando o sistema. Imagens radiopacas do simulador sem o estojo.....	41

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ACC	Artéria Carótida Comum
ACI	Artéria Carótida Interna
ACS	Angioplastia Carótidea com Stent
ACGME	Conselho de Acreditação para Educação Médica /Educação Médica Graduada
AIT	Ataque Isquêmico Transitório
AVC	Acidente Cerebrovascular
cm	Centímetros
CUSUM	Análise de Falha Cumulativa
DICOM	Comunicação de Imagens em Medicina
ESCAPE	Estudo randomizado do Tratamento Rápido Endovascular do Acidente Vascular Cerebral Agudo Isquêmico de Oclusão Proximal e Infarto Pequeno.
EUA	Estados Unidos da América.
ESNR	Sociedade Européia de Neurorradiologia
EXTEND-IA	Estudo do Tratamento Endovascular do Acidente Vascular Cerebral Agudo Isquêmico com Seleção por Imagem por Imagem de Perfusão.
FDA	Agência Federal do Departamento de Saúde dos Estados Unidos da América (Food and Drug Administration)
FDM	Modelagem de Deposição Fundida
HIC	Hemorragia intracraniana
IV	Intravenosa
LILACS	Literatura Latino-americana e do Caribe em Ciências da Saúde
LIT	Laboratório de Inovações Tecnológicas
MA	Estado Americano de Massachusetts
MAV	Malformações Arteriovenosas Intracranianas

MCA	Artéria Cerebral Média
MAVG	Malformação Arteriovenosa da Arteriovenosa da Veia de Galeno
MEDLINE	Sistema online Sistema online de Busca e Análise de Literatura Médica
MR CLEAN	Multicentro, Estudo randomizado do Tratamento Endovascular do Acidente Vascular Cerebral Agudo Isquêmico na Holanda.
NRI	Neurorradiologia Intervencionista
mm	Milímetros
RM	Ressonância Magnética
TC	Tomografia Computadorizada
VIST	Simulador de Sistema de intervenção Vascular
PLA	Acido Polilático
PVC	Policloreto de Vinil
REVASCAT	Revascularização com Stent (Solitaire™) Versus Melhor Terapia Farmacológica
rtPA	Ativador do Plasminogênio Tecidual
UNICHRISTUS	Centro Universitário Christus
WIFT PRIME	Stent (Solitaire™) com Intenção de Trombectomia como Primeira opção do Tratamento do Acidente Vascular Isquêmico
3D	Computação Gráfica Tridimensional
“	Polegadas

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
2.1	Doenças cerebrovasculares e tratamentos.....	16
2.2	Aquisição de habilidades.....	19
<b>3</b>	<b>OBJETIVO.....</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODO.....</b>	<b>24</b>
4.1	Tipo de Estudo.....	24
4.2	Referências Bibliográficas.....	24
4.3	Desenvolvimento do Simulador.....	24
4.3.1	<i>Local e Período.....</i>	<i>24</i>
4.3.2	<i>Método de Confeção do Simulador.....</i>	<i>24</i>
4.3.3	<i>Estrutura externa de suporte e transporte.....</i>	<i>26</i>
4.3.4	<i>Sistema Arterial.....</i>	<i>29</i>
4.3.5	<i>Técnicas de Uso.....</i>	<i>34</i>
4.4	Técnica Endovenosa.....	34
<b>5</b>	<b>MANUAL DO SIMILADOR.....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>46</b>

## 1. INTRODUCAO

O AVC é a principal causa de incapacidade a longo prazo em adultos e a segunda principal causa de morte no mundo (GATTRINGERT *et al.*, 2019). É detectado por um início súbito de déficit neurológico e morte celular cerebral ou da retina, devido à isquemia prolongada. Já um episódio transitório de disfunção neurológica causada por um foco cerebral, medular ou isquemia retiniana, sem infarto agudo, é chamado de ataque isquêmico transitório (AIT) (BENJAMIN *et al.*, 2018; LLOYD-JONES *et al.*, 2009).

Uma oclusão arterial aguda é o principal mecanismo subjacente ao AVC isquêmico agudo, na qual, uma oclusão arterial de um de um grande vaso cerebral pode ser identificada de forma aguda na maioria dos pacientes (DEL ZOPPO, 1992). Em aproximadamente 20% dos pacientes, nenhuma oclusão arterial pode ser identificada. Esses pacientes recanalizam-se espontaneamente ou têm o acidente vascular cerebral (AVC) tipo lacunar de pequeno vaso, apresentam sintomas neurológicos mais leves e continuam a ter um excelente resultado neurológico (KASSEM-MOUSSA, 2002). Os pacientes com oclusões em grandes artérias tendem a ter sintomas neurológicos graves desde o início e um mau prognóstico. A recanalização dessas oclusões da grande artéria, artéria, diâmetro maior que 2 mm, está associada a melhores resultados neurológico (SMITH *et al.*, 2005).

Outro fator chave que determina o resultado do acidente vascular cerebral é o tempo para conseguir a recanalização arterial. Em um estudo experimental, danos irreparáveis aos neurônios puderam ser observados em poucos minutos de queda crítica no fluxo sanguíneo cerebral (JONES T. H., 1981). Ainda há um debate saudável sobre a existência de uma janela de tempo fixa, porém não há dúvida de que uma recanalização mais rápida aumenta enormemente a chance de alcançar um melhor resultado neurológico (SAVER, 2006).

Doenças cerebrovasculares como os acidentes vasculares cerebrais, além das arterioscleroses intracranianas, mal formações intracraniana, malformações arteriovenosas intracranianas (MAV), aneurismas e fístulas arteriovenosas durais arteriovenosas ou durais ou MAVs durais são tratadas por intervenções endovasculares intracranianas sendo vasculares intracranianas utilizando técnicas intravasculares minimamente invasivas. Há evidências clínicas e científicas que

demonstram a aplicação, segurança e eficácia de técnicas endovasculares para o tratamento de doenças cerebrovasculares (DAY AL, 2017).

A introdução de intervenções minimamente invasivas baseadas em cateter revolucionou o manejo das doenças vasculares. Cirurgiões vasculares e pacientes aceitaram o papel da terapia endovascular devido à redução do desconforto relacionado ao procedimento, à recuperação mais rápida e à diminuição do tempo de permanência hospitalar. Contudo, estes benefícios são reduzidos quando os procedimentos endovascular são feitos por médicos inexperientes ou mal treinados, o que pode levar ao aumento de complicações e resultados ruins ao paciente. Tornou-se abundantemente claro, que a formação e a experiência inadequadas dos médicos pode afetar negativamente os resultados clínicos. (MAS J. L., 2006)

No modelo tradicional de aprendizagem o estagiário cirúrgico adquire habilidades em uma situação de ensino individualizado, usando, durante a prática clínica, o paciente como material didático. Embora a segurança do paciente seja justificada pelo fato de que um cirurgião sênior guie as operações, esta maneira de aprender já não atende aos requisitos do treinamento de habilidades cirúrgicas modernas. As razões importantes para isso são o desejo de uma maior uniformidade no treinamento, uma crescente demanda pública por "garantia de qualidade" e uma mudança importante nas técnicas de operação. A cirurgia vascular, em particular, teve uma grande mudança na prática diária devido à evolução das técnicas endovasculares (KASHYAP, 2002; LAMONT, 2005).

Neste contexto, padronizar o ensino para treinamento em todas essas técnicas, representa um desafio único.

Existem dados, os quais sedimentam que a experiência e treinamento do operador no desempenho dos procedimentos neurorradiológicos são um determinante vital no resultado do procedimento. Para garantir a qualidade dos cuidados, o Conselho de Acreditação para Educação Médica/Educação Médica, ACGME, publicou requisitos de treinamento para neurorradiologia intervencionista, NRI (HIGASHIDA, 2000). Contudo, hoje, existem apenas sete programas de treinamento NRI nos Estados Unidos que são aprovados pelo ACGME.

Tanto a ACGME quanto as várias sociedades de neurociência reconhecem que: todos os candidatos devem receber treinamento em angiografia cerebral diagnóstica com uma realização mínimo de 100 angiografias cervicais-cerebrais sob a supervisão de um médico qualificado (HIGASHIDA, 2000). O requisito mínimo

reflete a diminuição linear das complicações e a diminuição do tempo de fluoroscopia observada após as primeiras cem arteriografias as primeiras cem arteriografias diagnósticas. Tipicamente, a experiência diagnóstica necessária é adquirida em um ano preliminar antes do início do treinamento de intervenção a Sociedade Europeia de neurorradiologia, ESNR, de modo que o tempo total de treinamento é um mínimo de 2 anos. Este ano preliminar permite o desenvolvimento do conjunto de habilidades necessárias para aprender técnicas de intervenção. Esses conjuntos de habilidades incluem familiaridade com o uso de agulhas, cateteres e guias, bem como conhecimentos básicos de segurança de radiação e avaliação de pacientes, procedimentos de gerenciamento e interpretação básica da imagem de imagem angiografia.

Os padrões atuais de treinamento para praticar neurorradiologia intervencionista (NRI) com competência se baseiam em pré-requisitos cognitivos e técnicos (HIGASHIDA, 2000). O treinamento nessas técnicas requer vários anos de estudos dedicados para desenvolver uma compreensão e uma sensação háptica para a navegação do cateter em tratamentos intervencionistas (BATTH JL, 2011).

Em 2004, a Food and Drug Administration, FDA, sugeriu que o uso de simuladores deveria ser parte integrante do treinamento de intervencionistas, que desejam realizar procedimentos de Stent em Artéria Carótida (ACS). Conseqüentemente, um aumento constante no nível científico de pesquisa focada na validação da simulação endovascular como ferramenta para treinar intervencionistas novatos e experientados em procedimentos endovasculares (CHAER, 2006; HSU, 2004).

Os avanços rápidos na tecnologia de simuladores agora permitem ao intervencionista enviar um arquivo com dados de um paciente pelo computador e incorporar dados de imagens digitais e de comunicação digital (DICOM) específicas do paciente, tomografia computadorizada (TC) e ressonância magnética (RM) no programa de simulação. Este novo conceito de treinamento específico do paciente oferece a oportunidade para o intervencionista treinado, ensaiar e planejar o procedimento na anatomia do paciente real, antes de realizar a intervenção no paciente (CATES, 2007; HISLOP, 2009). Assim, uma escolha correta de ferramentas endovasculares, uso reduzido de contraste e fluoroscopia e uma ótima preparação da equipe endovascular pode resultar em uma melhor segurança do paciente.

Estudos observaram uma influência notável da simulação sobre a condução de intervencionistas que realizaram uma intervenção ACS difícil, especialmente para a seleção dos ângulos ótimos de fluoroscopia, cateteres seletivos e acessórios para acessar a artéria carótida comum (ACC). Além disso, observaram que, intervencionistas inexperientes muitas vezes alteraram a estratégia da angioplastia. (NASR, 2002; WILLAERT, 2011; PESCHILLO, 2014).

Conseqüentemente, a simulação endovascular pode ser usada para aumentar a segurança na sala de hemodinâmica ou na sala de operações através do treinamento de equipe técnica praticando um cenário específico antes de tratar o paciente real com toda a equipe.

Na última década, houve um aumento constante no nível científico de pesquisa focada na validação da simulação endovascular como ferramenta para treinar intervencionistas novatos e experimentados em procedimentos endovasculares. A literatura atual confirma a ideia de que há um papel benéfico da simulação no treinamento endovascular e na aquisição de habilidades e aprimoramento da técnica. Assim, vários modelos de simuladores estão disponíveis comercialmente, como AngioMentor" Express (Symbionix USA Corp., Cleveland, OH, USA); Simulador de Sistema de Intervenção Vascular (VIST), Mentice AB, Gotembrugo, Suecia; SimSuite (Medical Simulation Coporation, Denver, CO, USA). São simuladores com custo alto de aquisição e exigem manutenção permanente, tornando-os de difícil acesso às entidades de ensino brasileiras.

Diante do exposto, tem-se a necessidade de desenvolver um sistema de simulação para treinamento e aprendizagem pré-cirúrgica que seja de baixo custo, portátil, durabilidade longa e de uso fácil, podendo resultar em vantagens no ato operatório tanto para a equipe médica quanto para o paciente, com conseqüente melhor pós-operatório do paciente.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Doenças cerebrovasculares e tratamentos

No trabalho clássico realizado por Taylor (1996), a aterosclerose intracraniana é responsável por aproximadamente 8% a 9% de todos os AVC isquêmicos em estudos baseados em população ou hospitalares. Em geral, a aterosclerose intracraniana ocorre no cenário de aterosclerose generalizada. Além da raça e etnia, os fatores de risco associados à aterosclerose intracraniana incluem diabetes mellitus, hipercolesterolemia, tabagismo e hipertensão (WITYK *et al.*, 1996; HERRINGTON W *et al.*, 2016)

As malformações arteriovenosas intracranianas são uma causa incomum, mas importante de disfunção neurológica grave ou morte. Avanços estão sendo feitos na compreensão da causa, prevalência, incidência e história natural dessas lesões, bem como o efeito do tratamento (BERMAN *et al.*, 2000; STAPF *et al.*, 2003). Aproximadamente metade de todos os casos (0,55 por 100 000 pacientes-ano) apresentam hemorragia (BROWN *et al.*, 1992), mas o modo de apresentação mais comum é convulsões (OGILVY *et al.*, 2001).

As fístulas arteriovenosas durais ou MAVs durais são adquiridas de derivação da artéria-veia dentro da dura-máter, muitas vezes sem um nicho vascular definido. Eles constituem 10% a 15% de todas as MAVS intracranianas. Os sintomas dependem da localização da fístula e variam de zumbido sincronizado com pulsos e exoftalmia a déficits de nervos cranianos, demência, infarto venoso, hemorragia intracraniana e até mesmo a morte. (COGNARD C *et al.*, 1995).

Todas essas doenças cerebrovasculares são tratadas por intervenções endovasculares intracranianas utilizando técnicas intravasculares minimamente invasivas. Um crescente número de evidências clínicas e científicas demonstram a aplicação, segurança e eficácia de técnicas endovasculares para o tratamento de doenças cerebrovasculares. Este crescimento foi impulsionado principalmente por melhorias no microcateter (CLOFT *et al.*, 2002; FIORELLA *et al.*, 2012).

O primeiro tratamento para AVC agudo aprovado pela FDA em 1996 foi a trombólise intravenosa (IV) com ativador de plasminogênio do tecido recombinante (rtPA, alteplase). Esta estratégia tem a vantagem de ser relativamente fácil e rápida de iniciar e não requer equipamentos altamente especializados ou conhecimentos

técnicos (ADAMS *et al.*, 1996). No entanto, a trombólise IV não é uma panaceia para o tratamento agudo do AVC. As taxas de recanalização de rtPA IV para oclusão arterial proximal variam de apenas 10% para a oclusão da artéria carótida interna (ICA) a 30% para a oclusão da artéria cerebral média proximal (MCA) (WOLPERT *et al.*, 1996).

A técnica de injeção intra-arterial de trombolítico (Endovascular) tem várias vantagens teóricas sobre a trombólise IV. Por exemplo, com as técnicas de micro cateterização coaxial, o vaso intracraniano ocluído é diretamente acessível e o agente fibrinolítico pode ser infundido diretamente no trombo. Isso permite que uma dose menor de agente fibrinolítico atinja uma concentração local maior do que a alcançada por infusão sistêmica e, idealmente, permite uma recanalização mais completa com doses totais mais baixas de trombolítico. Com a menor dose, complicações de efeitos fibrinolíticos sistêmicos, incluindo hemorragia intracraniana (ICH), podem teoricamente ser reduzidas. (KLEINDORFER *et al.*, 2008)

Tal como acontece com outras técnicas de recanalização endovascular, as principais desvantagens da trombólise intra-arterial incluem a complexidade relativa do procedimento, o nível de conhecimentos técnicos necessários e os riscos e despesas adicionais de um procedimento invasivo em relação à IV rtPA (NOGUEIRA *et al.*, 2009). Mais recentemente, o intenso entusiasmo pela aplicação de técnicas endovasculares ao tratamento do AVC isquêmico agudo levou a um crescimento contínuo no campo (ZAIDAT, 2012).

O procedimento endovascular tornou-se a primeira opção de tratamento para AVC isquêmico que comprometem grandes vasos, podendo ter um tempo de janela de até 8 horas após publicação dos estudos randomizados e multicentros: MR CLEAN, EXTEND-IA, ESCAPE, REVASCAT e SWIFT PRIME (BERKHEMER, 2015). A técnica endovascular passou a ter um grau de importância exigindo um maior número de intervencionistas habilitados para tratar estes pacientes. O estudo DAWN baseado em imagens para a seleção de pacientes ao tratamento endovascular do AVC isquêmico, possibilitou uma extensão de até 24 horas, conseqüentemente um aumento significativo no número de pacientes que podem ser tratados (NOGUEIRA *et al.*, 2018).

As melhorias na tecnologia de microcateteres permitiram procedimentos endovasculares inovadores. O uso de angioplastia intracraniana e stent para tratamento de pacientes com doença aterosclerótica assintomática ou grave com

aterosclerose assintomática em alto risco de AVC tem sido objeto de bons relatos individuais e excelente eficácia (HENKES *et al.*, 2005).

Em aneurismas cerebrais há uma variedade crescente de tecnologia de espiras, comumente conhecidas como, disponíveis por várias empresas de dispositivos médicos, como técnicas para auxiliar a oclusão de aneurismas de colo largo, como a remodelação com balão e a oclusão assistida por *stent*. Em setembro de 2002, a FDA aprovou o *stent* Neuroform (Boston Scientific), o primeiro dispositivo de *stent* cerebrovascular, para aumentar a possibilidade de tratamento dos aneurismas cerebrais de colo largo (HENKES *et al.*, 2002).

Novos *stents* de segunda geração (Johnson e Johnson Cordis Neurovascular, Miami Lages, Florida) que agora são resgatáveis, ou seja, retirados do sistema de entrega, se não foram completamente implantados com um projeto de célula fechada, foram recentemente introduzidos em todo o mundo para uso em aneurismas anteriormente considerados difíceis de tratar por técnicas endovasculares. Na última década a tecnologia de *Flow Diverter* (diversor de fluxo) também está sendo utilizada no tratamento de aneurismas gigantes e complexos com o *stent* diversores de fluxo como o Pipeline (Chestnut Medical, Menlo Park, Califórnia) e outros dispositivos similares (FIORELLA *et al.*, 2008).

As fístulas durais também são frequentemente passíveis de tratamento endovascular curativo com técnicas de embolização transvenosa ou transarterial. Da mesma forma, certas fístulas pediátricas, incluindo a da malformação arteriovenosa da Veia de Galeno (MAVG), podem ser passíveis de oclusão curativa por técnicas endovasculares. Comparando com algumas séries cirúrgicas em que 90% das crianças com esta malformação morreram na cirurgia e o restante permaneceu gravemente incapacitado, até 80% dos casos agora podem ser curados hoje pelo uso de técnicas endovasculares, com bom a excelente resultados funcionais (MEILA D., *et al* 2016; MEYERS *et al*, 2000, JOHNSTON *et al.*; 1987).

No caso de aterosclerose intracraniana, a angioplastia com balão tem sido relatado por um número crescente de centros médicos, predominantemente acadêmicos e centros médicos de alto volume com conhecimentos neurovasculares significativos. Os resultados são encorajadores, contudo, o procedimento é tecnicamente exigente em muitos níveis e traz riscos substanciais ao paciente (MARKS *et al.*, 2006).

Com as técnicas de neuroimagem, muitas malformações arteriovenosas cerebrais (MAVs) são descobertas antes de causarem hemorragia cerebral (STAPP *et al.*, 2006). O padrão de tratamento e cura permanece a excisão cirúrgica, contudo, outros tratamentos incluem cirurgia endovascular com embolização e radiocirurgia focada. Na embolização endovascular, a morbidez cirúrgica pode ser melhorada e o risco de déficit neurológico permanente ou incapacitante é de 2% a 3%. (HARTMANN *et al.*, 2007).

## **2.2 Aquisição de habilidades**

A cirurgia endovascular em doenças neurológicas é a sub-especialidade médica que usa tecnologia minimamente invasiva baseada em cateteres e imagem radiológica combinadas com exames clínicos e conhecimentos técnicos para diagnosticar e tratar doenças do sistema nervoso, cabeça, pescoço, coluna e seu suprimento vascular. Em circunstâncias específicas, a cirurgia endovascular e outros procedimentos minimamente invasivos substituem alguns procedimentos cirúrgicos abertos (DAY, 2017).

Os procedimentos endovasculares em sistema nervoso são tecnicamente desafiadores. As habilidades necessárias não são diretamente transferíveis de outros sistemas vasculares e esses procedimentos envolvem um órgão com fisiologia e anatomia únicas. Candidatos interessados na formação de subespecialidade da Neurorradiologia devem ser tecnicamente competente no acesso do cateter e manipulações dentro de vasos da circulação do cérebro e medula espinhal e do segmento craniocervical e angiografia. Esses são procedimentos tecnicamente exigentes (BARR, 2003). Os profissionais sem experiência precisam aprender a manobrar cuidadosamente as ferramentas endovasculares através de vasos sanguíneos, manipulando ferramentas endovasculares dentro de um ambiente 3D (WANG L., 2006).

Neste contexto, surgem os simuladores que permitem que os profissionais que estão em treinamento aprimorem sua perícia técnica e também permite que os médicos e a indústria colaborem no desenvolvimento de dispositivos inovadores, com modelos de treinamento adequados integrados na rotina diária. Assim a segurança do paciente será aumentada com melhoramento do plano pré-operatório e habilidades cirúrgicas refinadas (LAN, 2016).

A incorporação de um modelo de simulação baseado em computador pode entrar neste contexto e tem o potencial de auxiliar no processo de treinamento. A simulação permite aos usuários ensaiar repetitivamente, de maneira prática e sem riscos para o paciente, as habilidades cognitivas e técnicas necessárias para realizar os procedimentos, além de fornecer feedback imediato. A esse respeito, a simulação computadorizada pode ser útil para preencher a lacuna entre a aprendizagem didática e a baseada no paciente para novos operadores. (HSU, 2004)

Existem várias teorias de aprendizagem que explicam o desenvolvimento de habilidade, dentre as quais a aquisição das habilidades psicomotoras necessárias em cirurgia. Entre elas destacam-se: Teoria de Fitts e Posner, Teoria de Miller Ericsson, Vygotsky, Lave e Wenger, Boud, Schon e Ende. (COSTA, 2018)

Fitts e Posner (1967), citado por Herzelee Van e col. (2008), sugeriram que o processo de aprendizagem de habilidades complexas é sequencial e que consistem em três fases específicas. Durante o primeiro estágio (cognição), o aluno ganha uma visão da tarefa através da explicação e demonstração do instrutor. No segundo estágio (associação), os novatos praticam a tarefa, associando esses elementos cognitivos às manobras músculo-esqueléticas para reduzir os erros, enquanto o professor fornece feedback. A fase final (automação) ocorre quando o sujeito executa a tarefa de maneira automatizada, com pouca ou nenhuma entrada cognitiva.

Miller (1990) descreveu uma hierarquia de competências em quatro estágios, começando com "conhecimento", progredindo através de "saber como" e "mostrando como" (competência) e culminando em "faz" (desempenho). O desempenho depende do contexto em que um médico funciona tão bem quanto suas habilidades.

O estudo com técnica CUSUM (análise de falha cumulativa) na avaliação da curva de aprendizado de um indivíduo encontrou resultados aceitáveis. Os resultados deste estudo indicaram que vinte procedimentos com dispositivo específico, do mesmo fabricante, são necessários para obter melhores resultados comparando com treinamento com vários dispositivos diferentes (FORBES, 2004).

Hislop (2009) observaram a aptidão endovascular inata, medida pelo tempo para completar uma tarefa. O tempo para completar a tarefa foi melhorado por horas de jogos de *videogame* jogados por semana e quantidade de treinamento formal. Os participantes que não possuíam habilidades de *videogame* ou treinamento formal

demoram muito tempo para concluir a tarefa e pareceram desajeitados. A descoberta de que os indivíduos não treinados, mas com extensa experiência em *videogames*, completam a tarefa rapidamente é interessante, mas não inesperada.

Uma diferença importante entre a cirurgia convencional e os procedimentos endovasculares é que durante a cirurgia convencional o operador está olhando diretamente para o procedimento que está sendo realizado em um ambiente tridimensional, enquanto que, durante os procedimentos endovasculares, o operador está olhando para outro lugar, ou seja, o monitor. Além disso, o médico endovascular está traduzindo movimentos bidimensionais da mão (inserção / retirada e rotação apenas) no ponto de acesso ao movimento de objetos (ou seja, cateteres, fios e outras ferramentas) em um ambiente endovascular tridimensional à distância. Pode ser que a extensa experiência de *videogame*, embora muito diferente em detalhes, seja benéfica em termos de tempo bruto, treinando o indivíduo para trabalhar efetivamente sob essas condições. Em outras palavras, observar objetos em uma tela afetados por movimentos de mãos não observados à distância, independentemente do conteúdo visual ou intelectual, é benéfico em relação ao tempo bruto. Wanzel (2002) demonstraram que as habilidades viso espaciais correlacionam-se positivamente com o desempenho cirúrgico em alguns procedimentos de odontologia, mas não para cirurgias endovasculares, sugerindo que a experiência cirúrgica eventualmente se torna mais importante do que a habilidade viso-espacial inata.

Herzeele Van (2008) (2010), em seus estudos prospectivos não randomizados, demonstrou que a qualidade do desempenho dos residentes durante uma intervenção ilíaca não complexa e padronizada foi influenciada pelo treinamento inicial de habilidades cognitivas. O resultado final dos residentes que se beneficiaram do treinamento de habilidades cognitivas foi semelhante ao dos intervencionistas, apesar dos valores inferiores nos parâmetros de avaliação quantitativa, ou seja, eles se saíram melhor, embora demorassem mais para fazê-lo. No entanto, a avaliação do produto final foi significativamente pior do que os médicos experientes. Certamente, para obter um resultado preciso nos procedimentos endovasculares, é necessária uma quantidade mínima de tempo de treinamento.

Desta forma, a melhora na completude de procedimentos endovasculares é resultado do treinamento cognitivo adicional recebido ao conhecimento teórico. Os

simuladores permitem o treinamento e o ensino melhorando a compreensão do procedimento em questão, sem colocar um paciente em risco.

### **3. OBJETIVO**

Verifica-se que a identificação e a intervenção rápidas são importantes no tratamento do AVC isquêmico agudo. Assim, identificar e desenvolver formas de capacitar os estudantes dos cursos de Medicina a realizar estes procedimentos é muito importante.

Os pacientes com oclusões graves, com demora no atendimento adequado, tendem a ter sintomas neurológicos graves já no início da ocorrência e um mau prognóstico. Além disto, estes pacientes têm possibilidades mais limitadas de recuperação. Os custos com a saúde são muito elevados para o paciente como para a sociedade.

O objetivo primordial deste trabalho foi desenvolver um simulador físico de Técnica Endovascular para o aprendizado de com maior eficácia, mais eficiência e segurança, que possa existir nos cursos de Medicina, para residentes em Neurorradiologia, neurocirurgia e cirurgia vascular.

## **4. MATERIAL E MÉTODO**

### **4.1 Tipo de Estudo**

Trata-se de um estudo analítico, transversal para o desenvolvimento de um simulador endovascular.

### **4.2 Referências Bibliográficas**

Com objetivo de revisão da literatura atual sobre técnicas endovasculares e simuladores, foi realizada pesquisa bibliográfica da literatura a qual iniciou em agosto de 2017 e foi concluída em abril de 2019.

A consulta feita aos bancos de dados *Medical literature analysis and retrieval system on line* (MEDLINE) e literatura Latino-americana e do Caribe em Ciências da saúde (LILACS), através respectivamente dos sites PubMed e BIREME, com seguinte descritores: “endovascular” AND “educação” AND “ simulador” AND “habilidades”. Foram inclusos trabalhos publicados entre 2005 à 2019.

### **4.3 Desenvolvimento do Simulador**

#### *4.3.1 Local e Período*

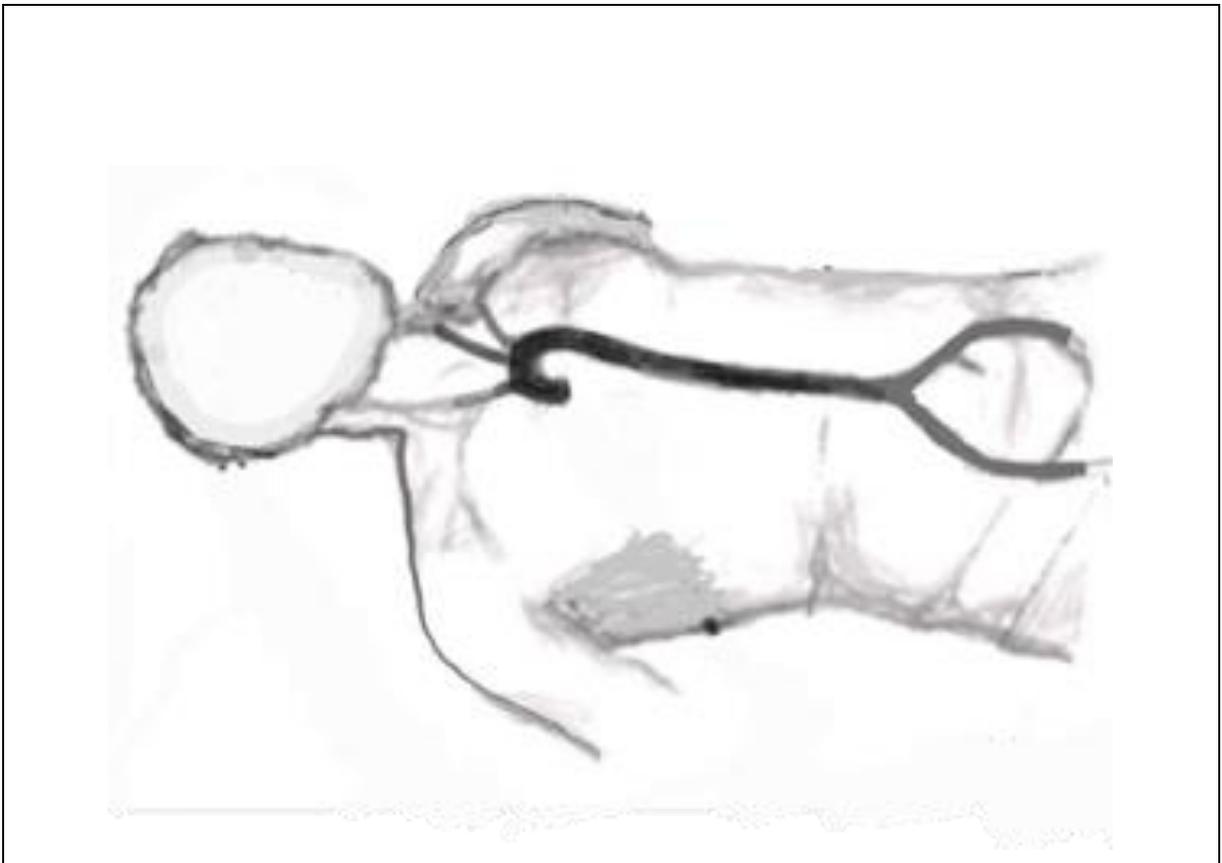
O desenvolvimento do simulador foi realizado por profissionais especialistas no assunto. Este trabalho foi desenvolvido através de reuniões entre o autor da pesquisa, o orientador, os programadores, os designers gráficos e os engenheiros mecânicos no período entre maio de 2018 a maio de 2019 realizadas no Laboratório de Inovações Tecnológicas (LIT) do Centro Universitário Christus (UNICHRITUS), onde foram definidos, projetado e desenhado e o sistema de vasos.

Os encontros da etapa final foram realizados com os engenheiros mecânicos objetivaram a transposição do desenho gráfico em simulador concreto.

#### *4.3.2 Método de confecção do simulador*

O desenvolvimento e confecção foram fundamentados em desenho feito a mão livre pelo autor (Figura 1), baseada em imagem do livro do médico neurocirurgião Frank Netter, com atuação em neurorradiologia diagnóstica e terapêutica que pratica a técnica endovascular em doenças neurológicas há aproximadamente vinte anos (NETTER, 1983). Este figura inspirou a construção de uma maquete, que foi manufaturada pelo autor e a parte arterial desta, foi adaptada para um desenho gráfico compatível com impressoras 3D (3D CLONER, Schumacher, Marechal Candido Rondon, PR, Brasil).

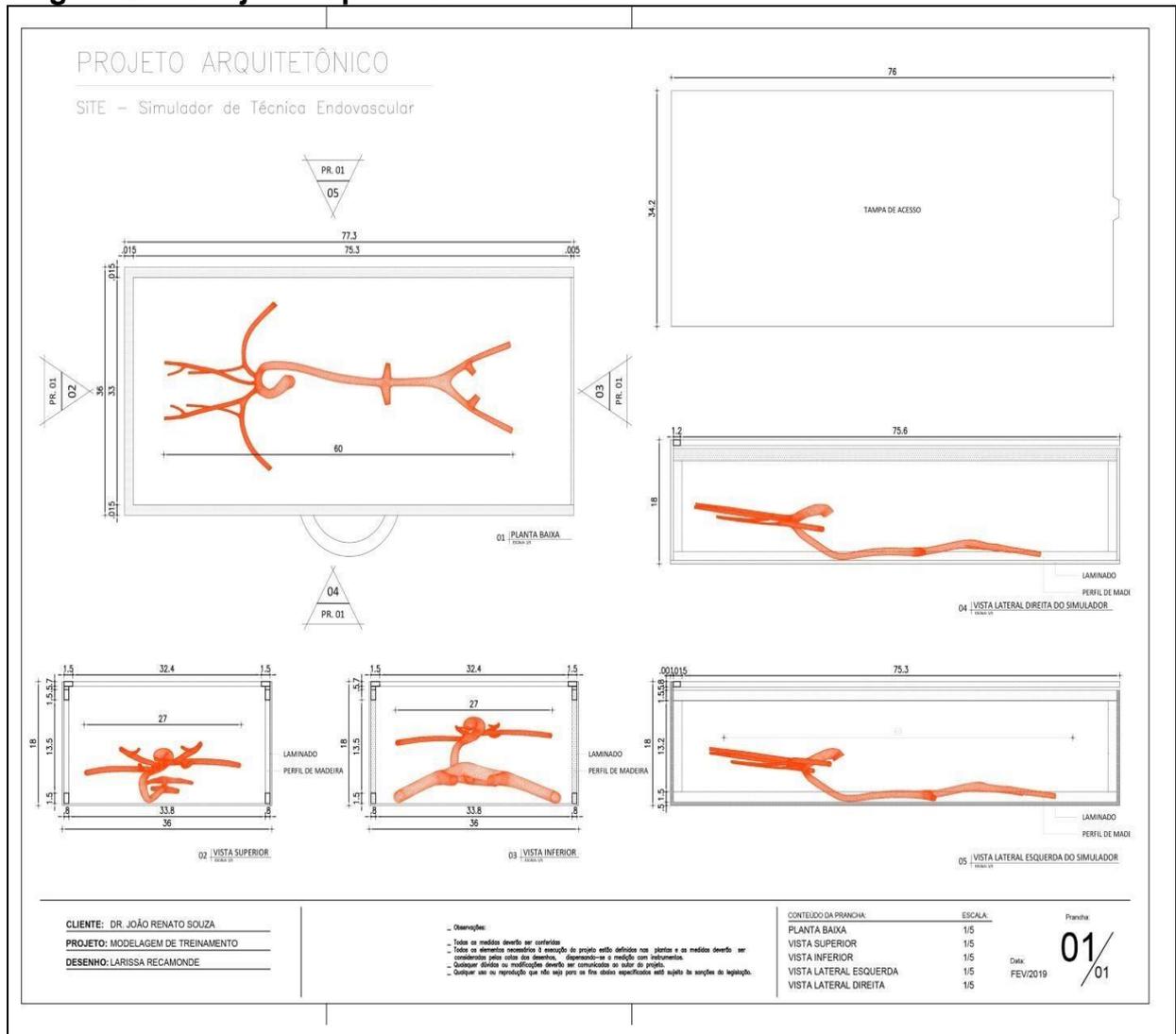
**Figura 1 - Desenho manual que orientou a manufatura da maquete do simulador.**



Fonte: Autor.

O simulador se divide em uma estrutura externa de suporte e de transporte e o sistema arterial. Este foi planejado pelo neurocirurgião, uma profissional de arquitetura e marceneiro. O mesmo foi desenvolvido por engenheiros mecânicos e designers gráficos (Figura 2A).

**Figura 2A - Projeto arquitetônico do simulador**

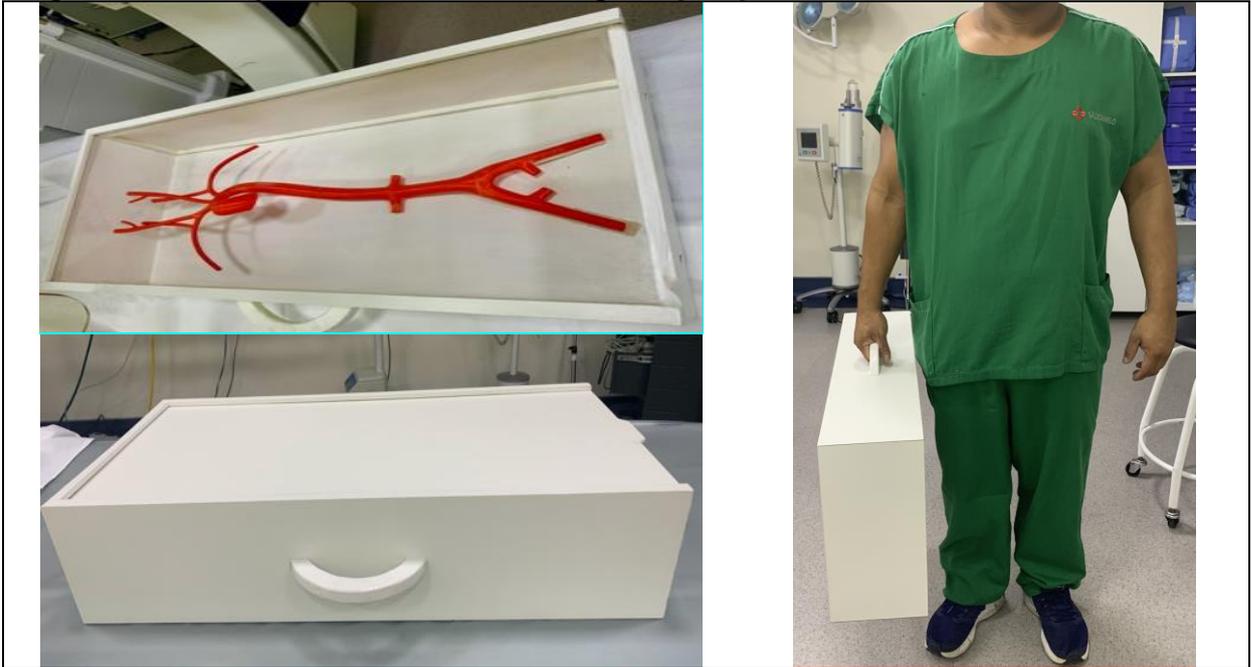


Fonte: Autor

#### 4.3.3 Estrutura externa de suporte e transporte

A estrutura externa consiste em um estojo com 77 cm de comprimento, 36 cm de largura e 18 cm de altura. O estojo foi confeccionado em madeira *Pinus elliottii* coberta na parte exterior com PVC com a finalidade de tornar a mesma fácil de higienizar, além de terem como característica serem de materiais sem opacidade ao raio X (Figura 2B).

**Figura 2B- Estojo do simulador, carregado por pessoa de 1,70 m.**



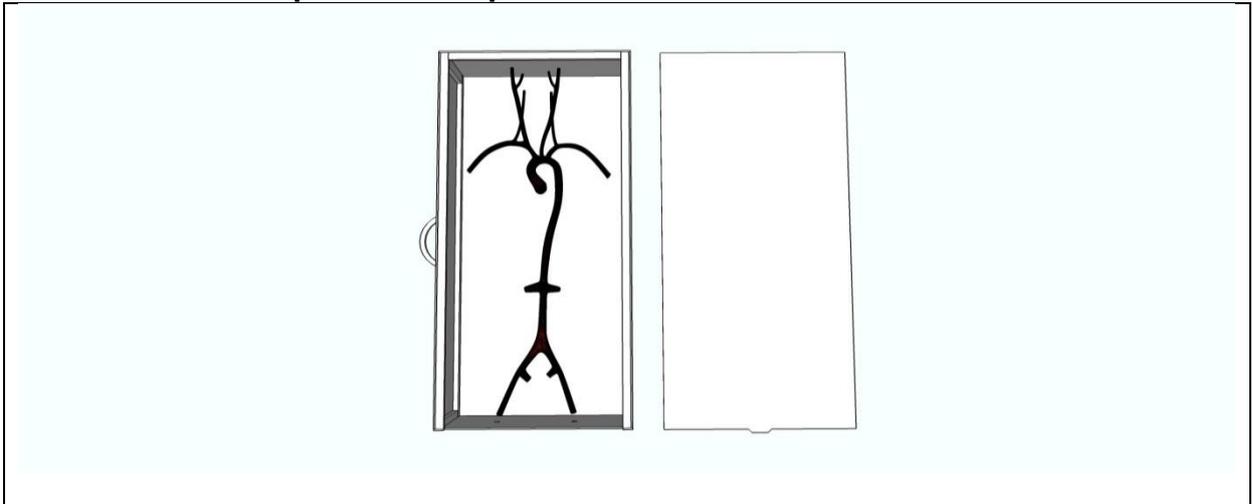
Fonte: Autor

As paredes do estojo medem 80 mm de espessura. Nos quatros cantos há pilares de madeira de 2 cm, os quais oferecem estabilidade e fortalecimento da estrutura. No centro da face lateral direita do estojo, quando visto de cima, tem uma alça de madeira de espessura de 2 cm x 2 cm para transporte.

Este modelo tem seis faces: uma face anterior, outra posterior; uma face superior cranial e uma inferior ou caudal e duas laterais, uma direita e outra esquerda.

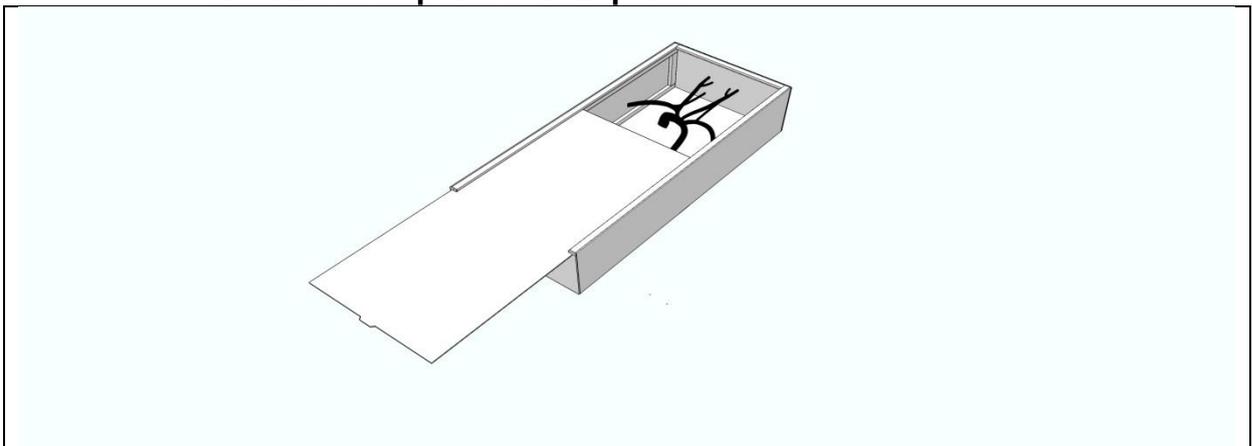
A face anterior consiste em uma tampa de espessura de 50 mm que pode ser retirada de maneira corrediça no sentido crânio caudal e serve de acesso à parte interna do simulador (Figura 3A, 3B e 3C). O propósito desta face é uma possível resolução de problemas técnicos.

**Figura 3A – Desenho em 3D mostrando uma visão frontal da estrutura externa de suporte e transporte .**



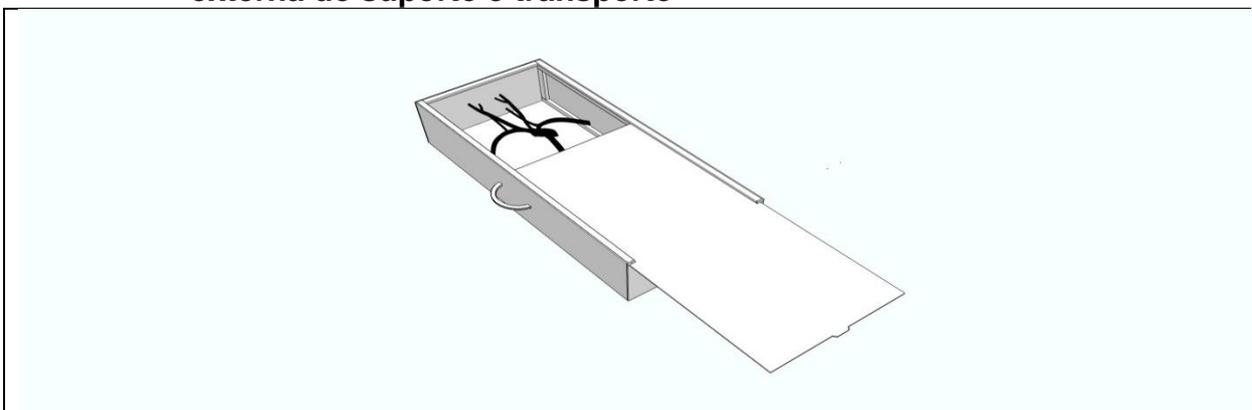
Fonte: Autor e Arquiteta Larissa Recamonde

**Figura 3B – Desenho em 3D mostrando uma visão lateral direita da estrutura externa de suporte e transporte**



Fonte: Autor e Arquiteta Larissa Recamonde

**Figura 3C - Desenho em 3D mostrando uma visão lateral esquerda da estrutura externa de suporte e transporte**



Fonte: Autor e Arquiteta Larissa Recamonde

Na face inferior ou caudal do simulador, em dois pontos (a 8,5 cm da face inferior), existem dois orifícios onde se encontra um introdutor de acesso ao sistema de simulação do sistema arterial de um indivíduo de aproximadamente de 170 cm. O acesso se dá por meio de um introdutor valvulado de 6 F (*French*, Escala) (Boston *Scientific* Boston, MA, EUA)

#### 4.3.4 Sistema arterial

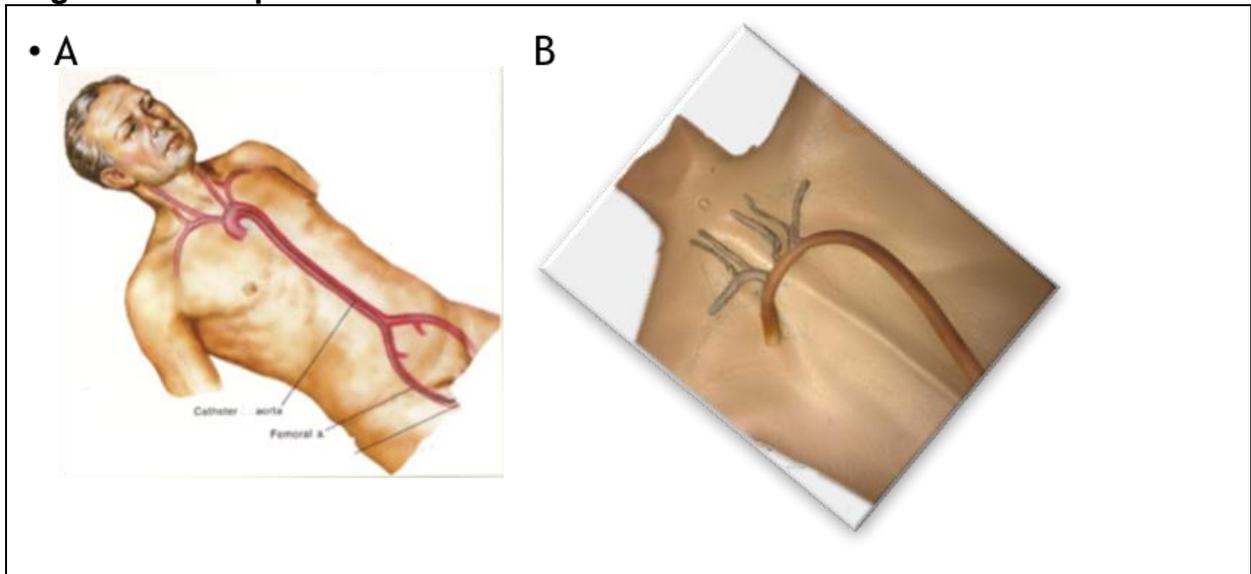
O sistema arterial foi projetado a partir de desenho que foi realizado à mão livre pelo autor, usando como base a anatomia, de acordo com um modelo de sistema circulatório ilustrado na figura de um livro de autoria de Frank H. Netter (NETTER, 1983) (Figura 4A). Usou-se, como parâmetros, um adulto de estatura de 170 cm, baseados em publicação de Lucarelli (1995).

Inicialmente foi construído um protótipo do simulador usando com base estrutural um manequim de policloreto de vinil que constava com tronco, raízes dos quatro membros e coluna cervical, o qual foi cortado em um plano coronal, constituído então de dois compartimentos, uma anterior (ou ventral) e outro posterior (ou dorsal).

O sistema arterial, baseados no desenho de Frank H, Netter, que é a essência do simulador, foi confeccionado com tubo flexível de policloreto de vinil (PVC) leitoso, medindo 60 cm de comprimento, 1” de diâmetro e paredes de 0,5 cm. Os tubos transparentes como são muito flexíveis e não ofereciam sustentação da curva do sistema arterial. Optou-se por utilizar um tubo flexível de PVC leitoso.

Para modelar e enrijecer o tubo flexível se utilizou um soprador de ar quente em uma angulação próxima da crossa da aorta, tendo como parâmetro as bases anatômicas do sistema arterial. A face cranial da curvatura do arco aórtico, que emergem os três troncos supra aórticos e consequentes artérias cervicais, foi modelada com resina epóxi. Com esta maquete manufaturada foi formatada a ideia concepção (ou ideia) espacial da parte do sistema circulatório do simulador (Figura 4B).

**Figura 4A - Sistema arterial de cateterismo (NETTER, 1983);  
Figura 4B - Maquete inicial.**



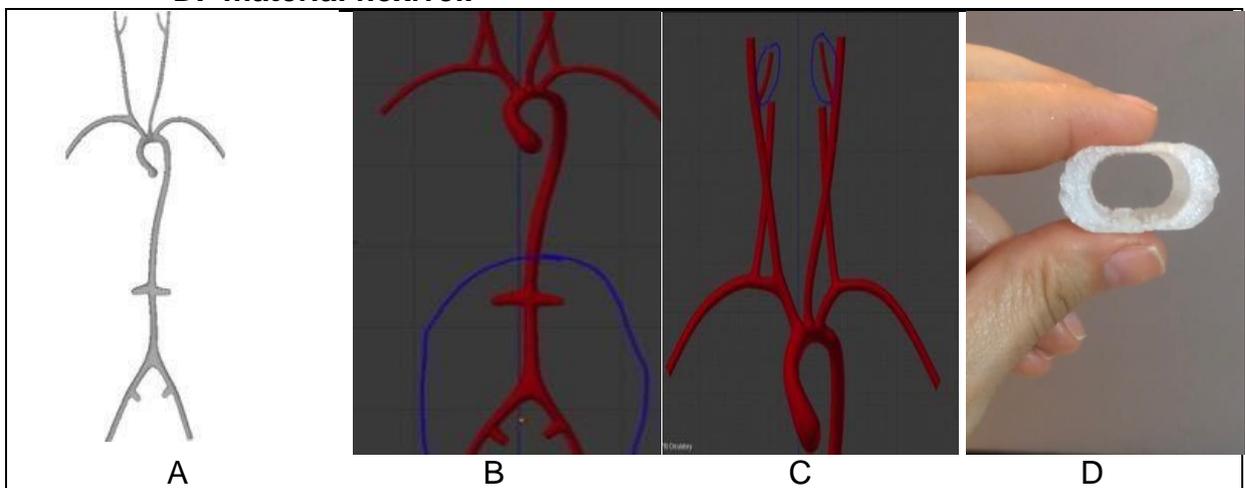
Fonte: Baseado em figura de Netter (1983) e adaptações do autor.

Um modelo do sistema circulatório humano compatível com impressora 3D foi adquirido no site [www.turbosquid.com](http://www.turbosquid.com), e reestruturado, adaptado/desenhado e dimensionado graficamente. O redesenho foi elaborado com medidas, ondulações e curvaturas com ângulos semelhantes aos de um sistema arterial de um ser humano de aproximadamente 170 cm, normal de um indivíduo adulto sem variações anatômicas utilizando como base um desenho do sistema circulatório compatível com impressora 3D adquirido no site citado acima. Inicialmente tentou-se a impressão em uma impressora 3D com material flexível e transparente. Para manter as curvaturas e ângulos semelhantes aos anatômicos seria necessária uma parede muito espessa.

A princípio, manufacturamos um sistema arterial com paredes delgadas usando silicone inicialmente (Plastisol SQ 5225) que é uma suspensão de partículas de PVC e um plastificante, tendo a apresentação em líquido vinílico curável que após fundição adquire transparência incolor levemente amarelado, de dureza Shore A (medida usando um durômetro de Shore onde a de maior dureza é 100) 12,0 a 16,0, compatível com impressora 3D. O sistema arterial não mantinha forma nem posição espacial, itens indispensáveis ao simulador. Esta sustentação do sistema, com pilares ou estruturas rígidas, tornou este compartimento do simulador pesado e pouca portabilidade.

A opção de utilizar uma parede mais robusta para manter as características exigidas para o simulador, forma e posição espacial, se inviabilizou. Construir a crossa da aorta com afastamento e posicionamento dos arcos supra aórticos não foi possível. Devido a não viabilidade de material flexível e ou transparente, fez-se a opção por um material mais leve, rígido, com paredes opacas ao Raio “X” (ácido Poliático) (Figura 5).

**Figura 5 - A. Desenho inicial adquirido no [www.turbosquid.com](http://www.turbosquid.com);  
B. redesenho da extremidade caudal;  
C. Redesenho da extremidade cranial;  
D. material flexível.**



Fonte: Autor

O protótipo do sistema circulatório humano, que foi desenhando em um programa de computação gráfica para impressora com tecnologia 3D foi impresso em um material termoplástico PLA (Ácido Polilático) através de uma impressora 3D (tecnologia FDM, 3D CLONER, Schumacher, Marechal Candido Rondon, PR, Brasil). Este protótipo foi estudado e desenvolvido para uso sem fluidos e constituído por uma única peça, não necessitando de conexões ou dispositivos para se manter com curvas e ângulos semelhantes à anatomia humana. Ele foi desenvolvido com materiais são capazes de simular a flexibilidade do sistema arterial.

O sistema arterial do simulador é similar ao real contendo segmentos arteriais, no sentido do contra-fluxo sanguíneo: a- femorais; b- ilíacas internas; c- ilíaca comum; d- renais; e- aorta; f- arco aórtico, no sentido do fluxo; g- subclávia esquerda; h-vertebral esquerda; i- carótida comum esquerda; j- carótida interna esquerda; k- carótida externa esquerda; l- carótida comum direita; m-carótida interna

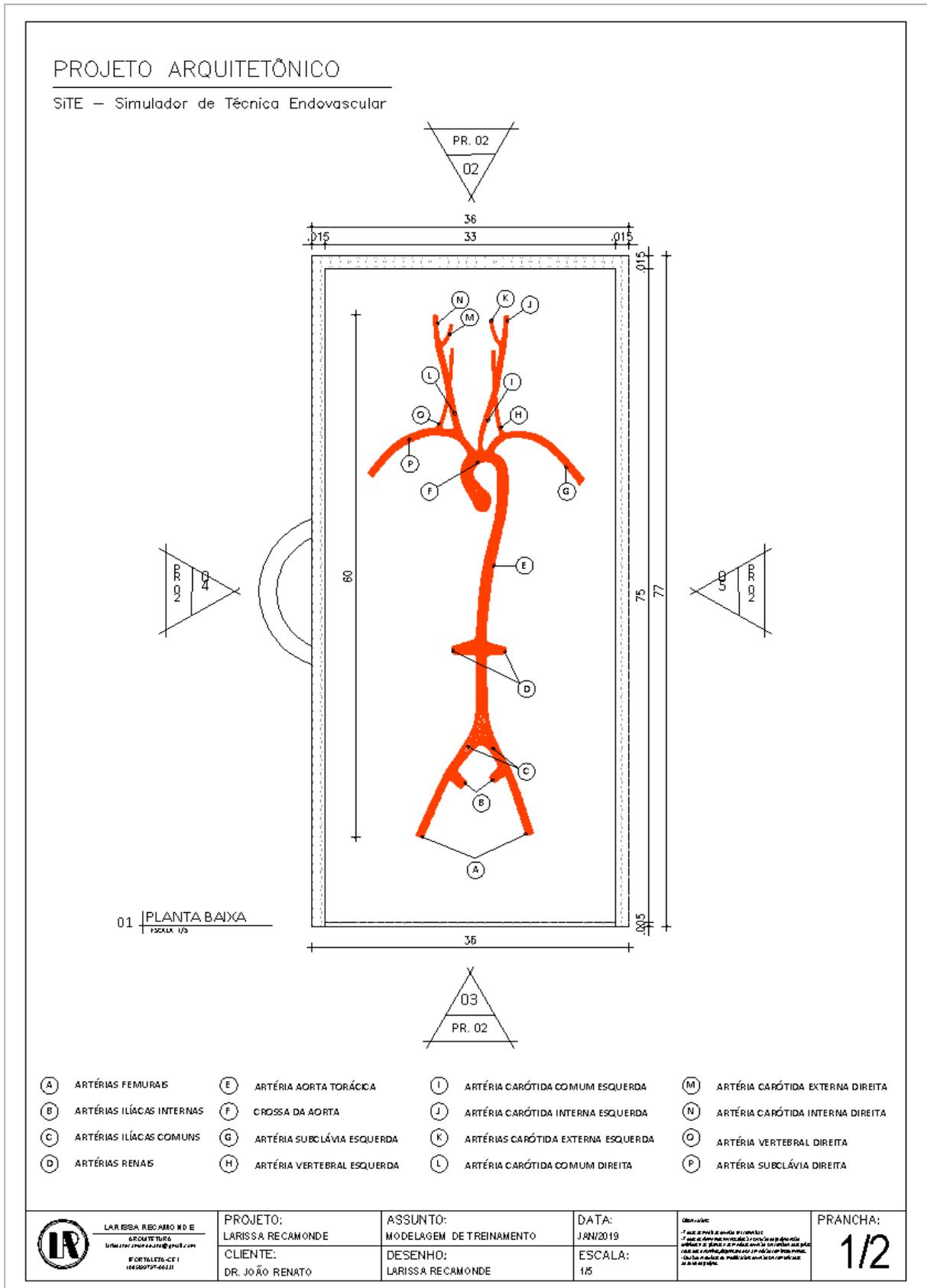
direita; n- carótida externa direita; o- vertebral direita; p- subclávia direita; q- aorta ascendente; tronco braquiocefálico, contendo a artéria carótida comum direita bem como as partes próximas de seus ramos; segmento de artéria subclávia direita, medindo 14 cm e a artéria vertebral direita, tendo 11 cm. Esta sai a 2 cm do início da artéria subclávia.

Na mesma face superior da aorta, a 2 cm do tronco braquiocefálico, sai a artéria carótida comum esquerda de 14 cm de extensão que termina em sua bifurcação de onde emerge a carótida interna esquerda de 4 cm de extensão e mediamente a carótida externa de 3 cm de extensão (Figura 6). A crossa da aorta tem uma angulação da direita para a esquerda e anteroposterior. Na sua face superior, antes de se tornar descendente, ramifica a artéria subclávia esquerda que tem um trajeto ascendente. Antes de mudar o sentido para lateral, emerge a artéria vertebral esquerda a 2 cm da aorta tendo sentido cranial e extensão de 11 mm.

A aorta descendente começa no final da crossa, apresenta um sentido caudal suave e na distância de 24 cm se ramifica, de ambas as faces laterais, as artérias renais que tem 2 cm de extensão.

No segmento infra-renal, deste protótipo, a aorta mede 10 cm e se bifurca em duas artérias ilíacas, com 4 cm de comprimento, do seu início, no sentido caudal. Esta se bifurca dando um ramo da sua face medial com sentido para a linha média que corresponde a artéria ilíaca interna, que neste protótipo mede 2 cm de extensão. O ramo externo continua no sentido caudal por 8 cm que corresponde a artéria femoral por onde dois pontos equidistantes das bordas laterais superiores onde foi colocado a extremidade distal do introdutor que é o acesso do sistema com cateteres e guias (Figura 6).

**Figura 6 – Planta baixa do projeto arquitetônico do simulador com denominação dos itens.**



Fonte: Autor e Arquiteta Larissa Recamonde

#### 4.3.5 Técnicas de Uso

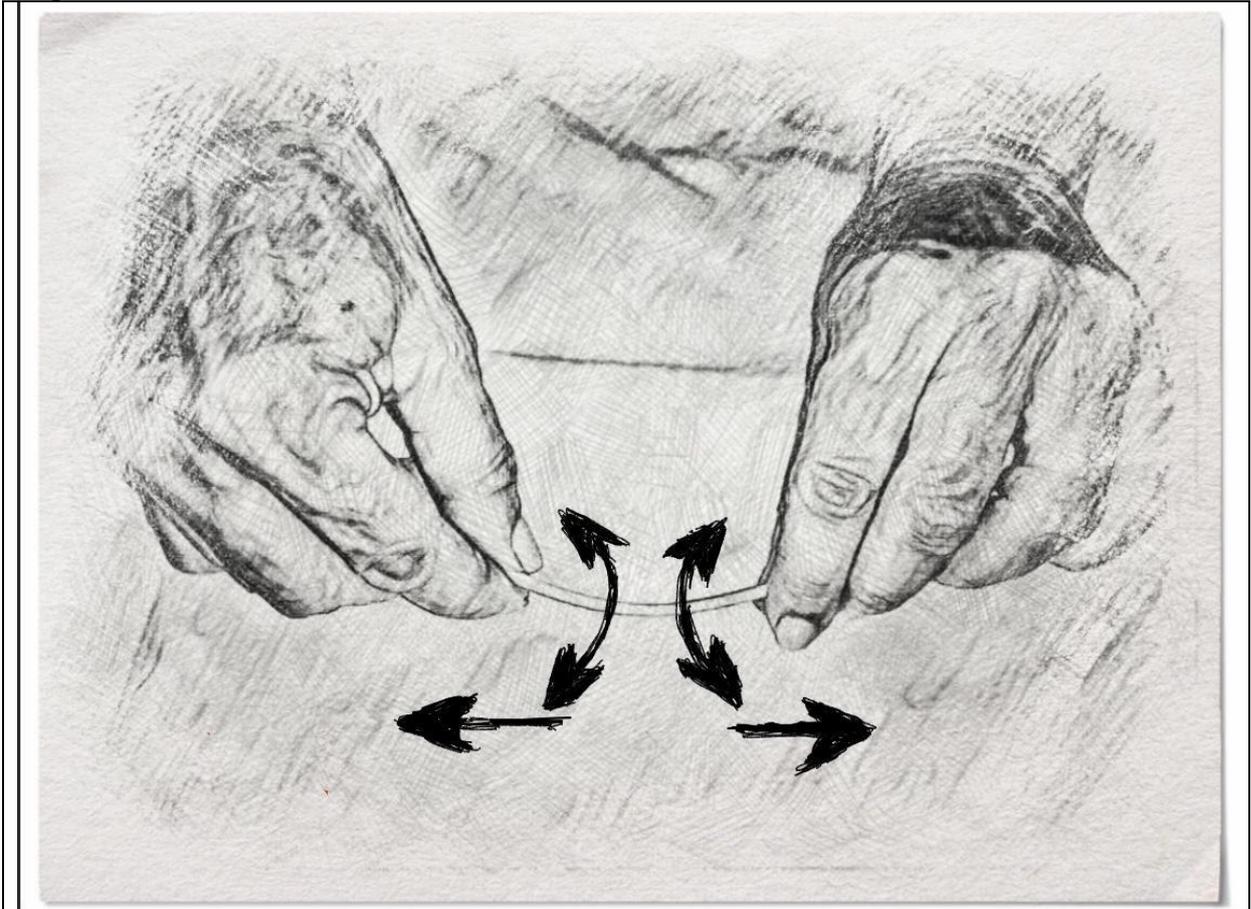
O simulador deve ser colocado sobre a extremidade distal de uma mesa de hemodinâmica (nesta dissertação utilizamos uma da marca GE e outra da marca PHILIPS) com a alça de transporte à direita da mesa. O simulador deve ser utilizado sem líquidos, os cateteres e guias devem estar totalmente secos. O controle dos instrumentos deve ser realizado através do monitor com fluoroscopia mais baixa (frequência de pulso) do aparelho. Toda a proteção radiológica deve ser utilizada, com biombo, protetor de teto, saia de mesa e o operador deve estar com avental e protetor de tireoide.

#### 4.4. Técnica Endovascular

A fim de realizar a cateterização seletiva dos vasos supra aórticos, no orifício de acesso à direita do simulador, deve-se introduzir um cateter de curva vertebral ou *HeadHunter* 5 F e navegar com a mão esquerda, avançando-o com a mão direita, mobilizar a mesa para acompanhar a extremidade distal do cateter e guiar até estes atingirem a crossa da aorta. Durante este percurso é importante reconhecer se o cateter não se direciona para a artéria femoral contralateral e as artérias renais bilateral.

Estando na crossa da aorta, deve-se posicionar o arco da hemodinâmica de modo a possibilitar a visão do arco aórtico aberto. Diante disso, a mão direita adquire a extremidade proximal do cateter para com ambas as mãos realizar o movimento rotatórios, horários e anti-horários, com avanço de poucos centímetros e retroceder para cateterizar primeiro o tronco braquiocefálico, vertebral direita, carótida direita, carótida interna direita e externa direita (Figura 7).

**Figura 7. Movimentos horizontais e rotacionais.**



Fonte: Autor

Após cateterização, deve-se retroceder o cateter para o arco e reposicionar a mesa com a mão direita e cateterizar a carótida interna e a externa esquerda, retroceder a mesa e, se necessário, mobilizar o arco para melhor a visão e cateterizar a subclaviasubclávia esquerda e vertebral esquerda. Deve-se repetir estes passos anteriores com o guia 0.35"x180cm, sempre 2cm ou 4 cm a frente do cateter e, após passar a guia, avançar o cateter sobre a guia.

Após todos cateterizados, retira-se o cateter de curva tipo vertebral e se repete este procedimento com cateter curva Simons I.

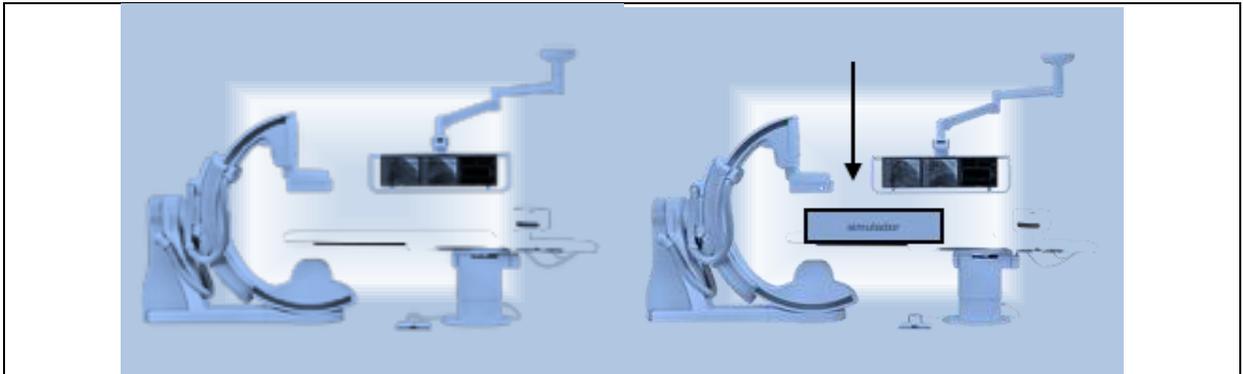
Posteriormente retira-se o material com visão da saída até o término da crossa da aorta.

## 5. MANUAL USO DO SIMULADOR

### Passos para utilização do Simulador de Técnica Endovascular.

**Passo 1:** Colocar simulador na extremidade próxima do arco do intensificador de imagem (Figura 8).

**Figura 8 - Desenho esquemático da posição de simulados dentro do aparelho de hemodinâmica.**



Fonte: Foto de desenho de um aparelho Phillips, adaptada pelo autor.

**Passo 2:** Colocação dos protetores de raios na posição recomendada interpondo as barreiras de chumbos entre o operador do simulador e o arco do intensificador de Raio “x”.

**Passo 3:** Realizar a fluoroscopia pulsada com taxa de 7,5 imagens/s e colimadores.

**Passo 4:** Proceder a cateterização com cateter Head Hunter ou vertebral 5F (French) os troncos supra aórticos (Figura 9 - A à D).

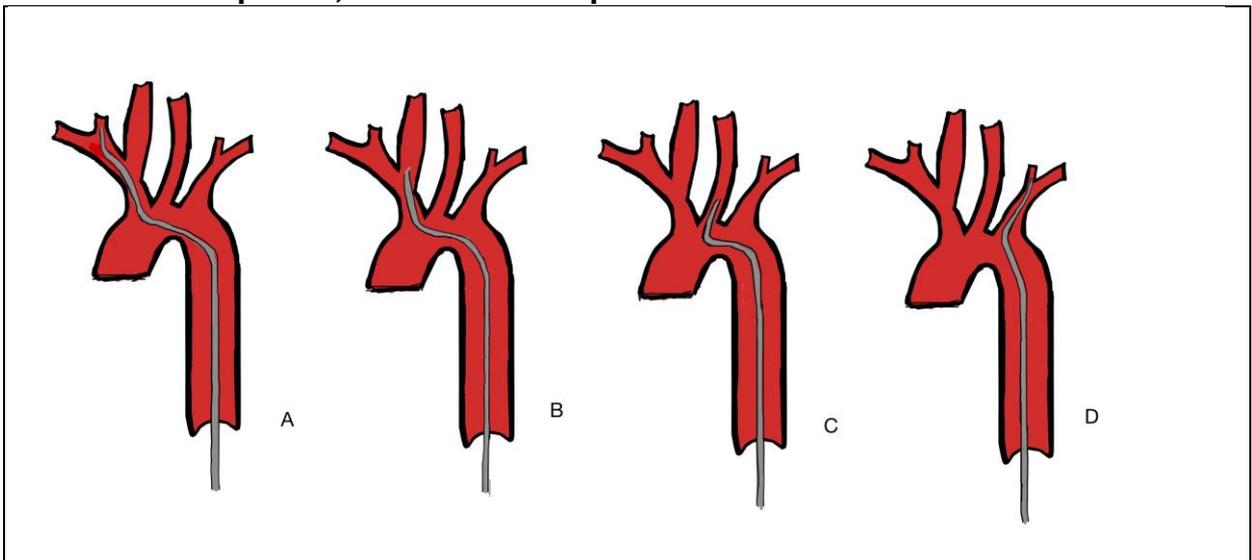
1. Inicialmente as artérias vertebrais coloque um cateter de diagnóstico angular sobre um fio hidrofílico e na artéria subclávia esquerda.
2. Faça um roteiro e passe o fio para a artéria vertebral até que a ponta do fio esteja no terço superior da porção cervical do vaso. A colocação do fio relativamente alto na artéria vertebral fornece uma posição adequada para o avanço do cateter, ajudará a endireitar quaisquer dobras na artéria que possam estar presentes perto da origem e também facilitará a passagem suave do cateter após a entrada da artéria no forame.

### Cateterismo da Artéria Carótida

3. Avance um cateter de diagnóstico angular sobre um fio hidrofílico sobre o arco aórtico até uma posição proximal à arte denominada. (Figura 9 - B). Recoloque o fio no cateter e puxe-o com cuidado, com uma ponta do cateter voltada para cima, até que a artéria denominada esteja envolvida. Avance o fio superior na artéria carótida comum direita, seguida pelo cateter.
4. Para cateterizar a artéria comum esquerda (Figura 9 - C), puxar o cateter suavemente e lentamente para um local designado, com o fio dentro do cateter e uma ponta voltada para a esquerda do paciente, até o cateter fique na carótida comum imediatamente. Em seguida, avance o fio superiormente, seguido pelo cateter.

#### Figura 9 – Crossa da Aorta com a sequência de cateterização.

A. Vertebral direita; B. Carótida comum direita; C. Carótida comum esquerda; D. Vertebral esquerda



Fonte: Autor

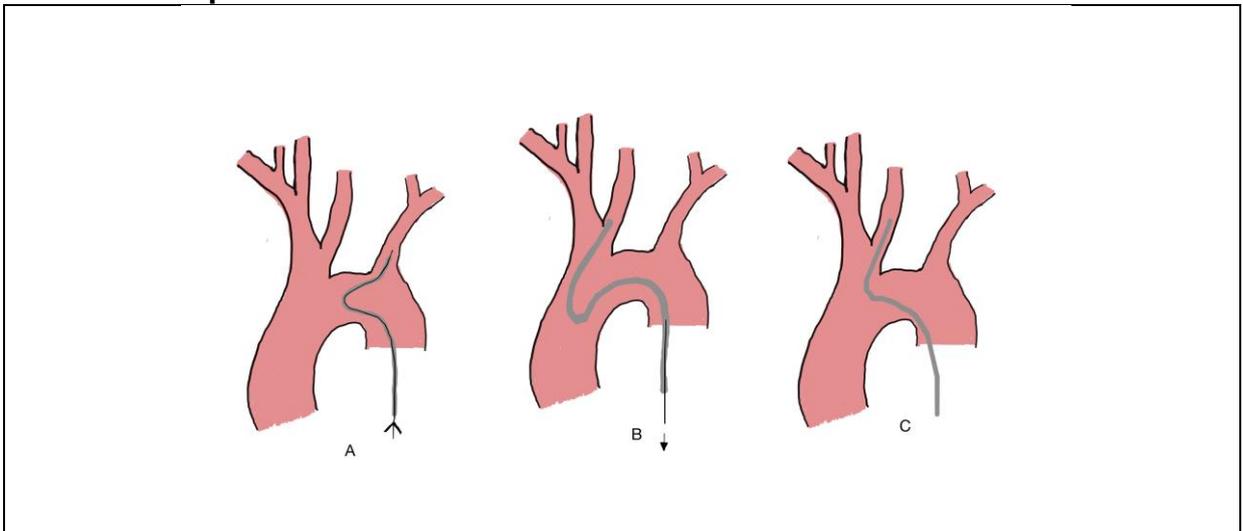
**Passo 5:** Repetir o **passo 4** com guia 035” /180 cm coberta com politetrafluoretileno (teflon).

**Passo 6:** Reconstituir a curva (armar) do cateter Simons utilizando a guia coberta com politetrafluoretileno (teflon) 035” x 180 cm utilizando-se umas das técnicas (Figuras 10 e 11):

Lembre-se de que a ponta do cateter de Simmons avança para dentro do vaso quando o cateter é puxado para trás na extremidade proximal e puxa para fora do vaso quando o cateter é empurrado para frente. Esse efeito é o inverso do comportamento de cateteres de curva mais simples ou angulados. O cateter de Simmons também pode ser avançado antegradado sobre um fio, permitindo o cateterismo seletivo das artérias carótidas internas ou externas.

Na Figura 10 abaixo, reconstituindo um cateter Simmons na artéria subclávia esquerda. O cateter é avançado através de um fio hidrofílico na artéria subclávia esquerda, de modo que a ponta esteja na artéria subclávia (A) e a curva primária no cateter (o “cotovelo”) esteja no arco aórtico. O fio é retirado até que a ponta esteja próxima ao cotovelo (B) e o cateter seja empurrado para frente, até que o cotovelo se mova para a parte proximal do arco aórtico (C) e a ponta do cateter fique fora artéria subclávia, direcionada para trás em direção ao eixo do cateter.

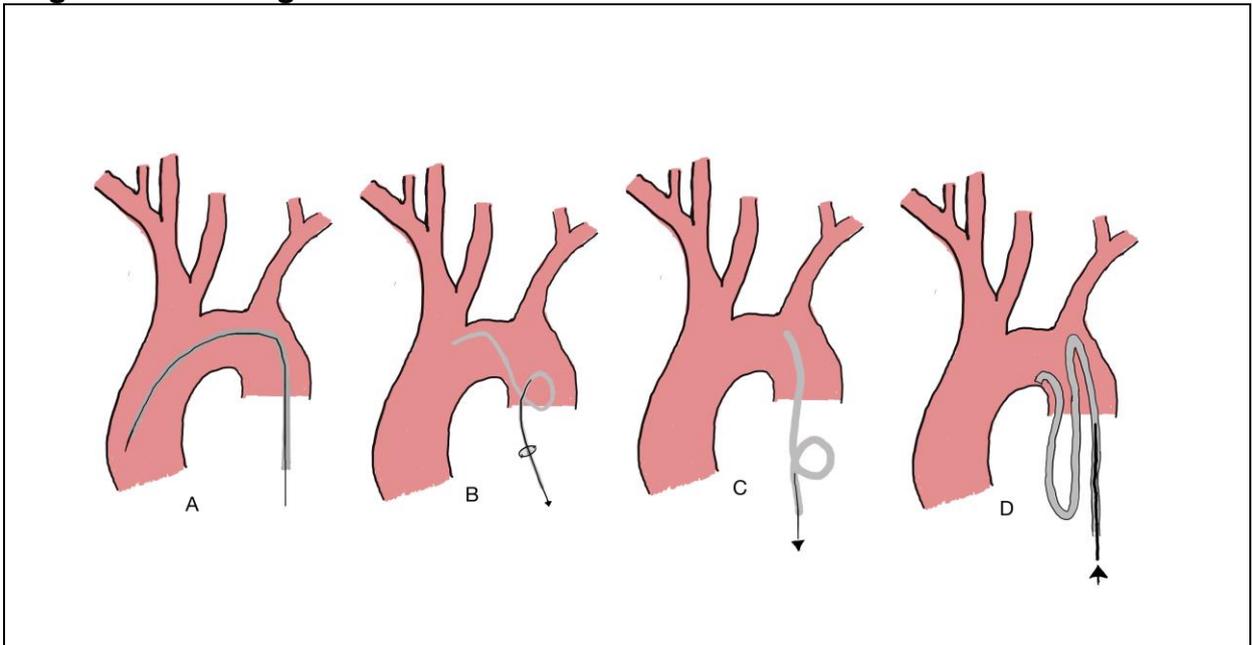
**Figura 10- Montagem do cateter Simmons Método 1- Utilizando um dos troncos supra aórticos .**



Fonte: Autor

O cateter Simmons 2 é útil no cateterismo da artéria carótida comum esquerda, principalmente quando existe uma configuração bovina, quando o arco aórtico é tortuoso e em pacientes com idade > 50 anos. O cateter pode ser reconstituído na artéria subclávia esquerda, (Figura 10 A, B e C). A montagem no arco aórtico, Figura 11 - A, B, C, D) e sempre mais laboriosa. Figuras 10 e 11 foram de autoria do autor tendo como base Harrigan (2009).

**Figura 11- Montagem do caterter Simons Método 2 - Crossa da Aorta**



Fonte: Autor

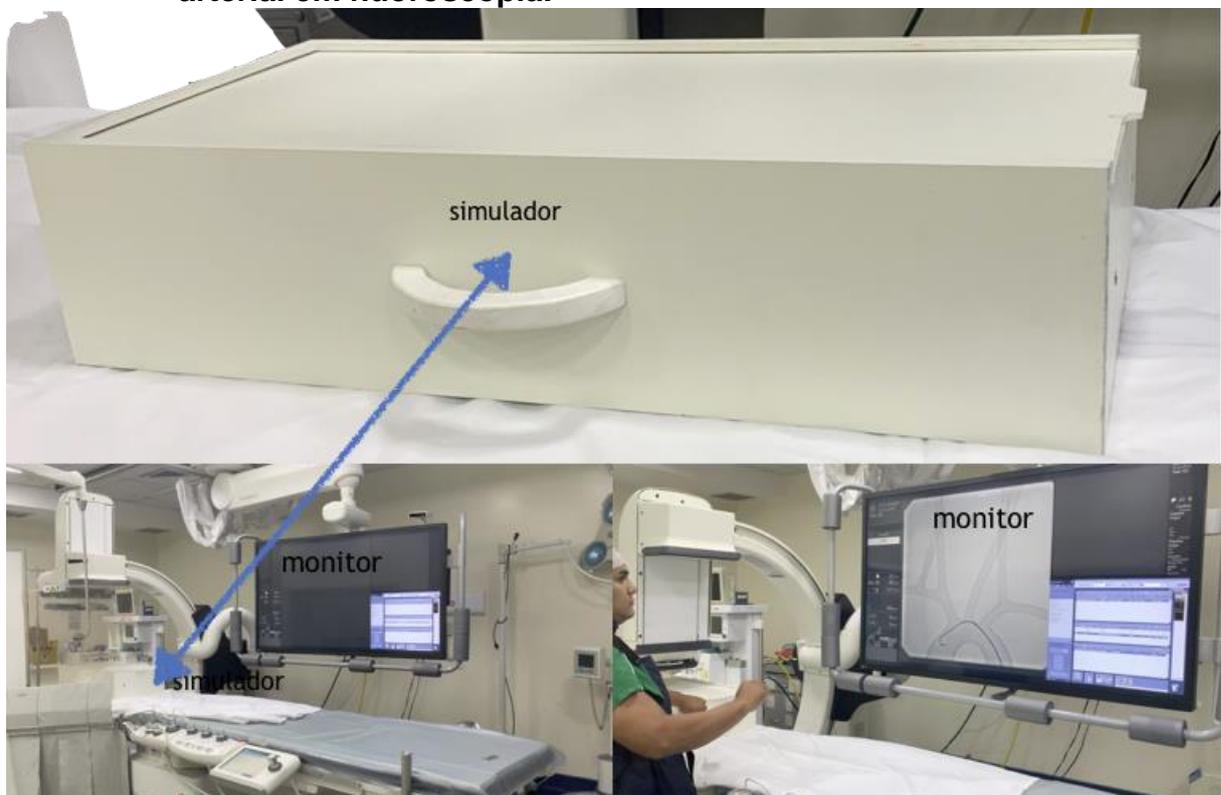
Método 2 para reconstituir um cateter Simons. O cateter é avançado através de um fio hidrofílico, de modo que a ponta do cateter esteja na aorta ascendente (A). O fio é então retirado até que sua a ponta do fique proximal ao cotovelo, e o cateter é girado no sentido horário ou anti-horário, ao mesmo tempo em que é retirado simultaneamente, de modo que a alça fique na aorta descendente (B) e (C). O fio é então avançado rapidamente (D), para reconstituir o cateter.

**Passo 7:** Com o cateter Simons armado tentar cateterizar os troncos supra aórticos sem guia.

## 6. RESULTADOS

Foi desenvolvido um simulador endovascular para uso no aprendizado em neurorradiologia para aquisição de habilidades previamente ao uso da técnica no paciente e testado por um profissional com expertise em neurorradiologia (Figuras 12 e 13).

**Figura 12 - Simulador do sistema arterial a mesa de hemodinâmica e operador na posição de uso com tela mostrando a imagem do sistema arterial em fluoroscopia.**



Fonte: Autor

**Figura 13 - Operador à direita acessando o sistema. Imagens radiopacas do simulador sem o estojo.**



Fonte:autor

## 7. DISCUSSÃO

O simulador proposto além de ter a vantagem no processo ensino-aprendizagem em treinamentos e conquista de habilidade prévia à conduta no próprio paciente, reduzindo, assim o trauma operatório e melhorando o pós-operatório, trata-se de um equipamento de baixo custo, fácil manuseio, transportável, oco com paredes maciças, finas e resistentes que permite realizar uma simulação próxima da realidade sem perda da forma.

Existem dados os quais sedimentam que a experiência e treinamento do operador no desempenho dos procedimentos neurorradiológicos é um determinante vital no resultado do procedimento. Assim, o uso do simulador endovascular torna o residente mais seguro, resultando em procedimento menos traumático ao paciente com melhor resultados pós-operatório. (CLOFT, 2002; FIORELLA, 2012). Como o sistema endovascular é tecnicamente desafiador, o simulador torna-se uma ferramenta útil de ensino/aprendizagem e aquisição de habilidades.

O simulador desenvolvido tem a finalidade de treinar percepção háptica da arteriografia cerebral diagnóstica, a qual é o passo inicial para adquirir praxia para a técnica endovascular, pois, através dela, o médico adquire a noção de estar trabalhando com instrumentos longos, flexíveis em que somente dois movimentos baseiam a técnica, movimentos rotatórios e horizontais (SPIOTTA, 2011; SPIOTTA, 2014). Os controles são visuais na tela da máquina de hemodinâmica, o qual o alvo fica ao lado do operador, movimentos lateralizados, diferente de outras técnicas em que o alvo fica na frente do operador.

Como este simulador tem a função de treinar os movimentos básicos ou estruturais da técnica endovascular e a percepções espacial na tela da máquina de hemodinâmica, foi optado por um simulador seco e radiopaco para realizar os treinamentos de passagem de cateteres e guias. Não foi realizado punção ou acesso vascular, nem uso de contraste, uma vez que administração de contraste hoje é exercida pelos injetores e o *Road Map* 3D, que é uma função essencial nas máquinas de hemodinâmica. Como a punção de artérias e veias ocorre de maneira semelhante a punções de outros vasos periféricos, não foi acrescido este ponto no simulador.

Existem quatro tipos de simuladores da técnica endovascular: simulação virtual, em animais vivos, material ex-vivo e por vasos impressos em 3D. Os simuladores virtuais: *ANGIO Mentor* (Simbionix, Cleveland, OH, USA), *Vascular Intervention System Trainer* (VIST) , (Mentice AB, Gothenburg, Sweden) e *SimSuite* (Medical Simulation Corporation, Denver, CO, USA) são simuladores virtuais mais encontrados. Apresentam boa durabilidade, replica situações específicas de pacientes, múltiplos modelos e baixo risco, contudo tem fidelidade baixa a mediana, baixa resposta hápticas e o custo de aquisição e manutenção muito alto (SEE, 2016).

Embora os simuladores computadorizados tenham a vantagem de serem personalizáveis caso a caso, eles não têm o *feedback* tátil que um modelo de silicone fornece ao praticar habilidades, como inserir um cateter ou fio moldado em uma bainha ou navegar pelo arco aórtico. Por exemplo, usando um modelo de silicone, um estagiário pode fazer o ajuste necessário quando o arame trava contra a parede do vaso, respondendo ao *feedback* tátil da resistência ao avanço do arame. Isso não é um recurso dos atuais simuladores virtuais. (MIRANPURI, 2013)

Muitas vezes é necessário o *feedback* para o estagiário entender em que aspectos de seu desempenho deve se concentrar. Embora os sistemas de treinamento virtuais ofereçam a vantagem do software para pontuar automaticamente os praticantes em parâmetros objetivos, um estudo mostrou que a única diferença entre um grupo de iniciantes e experientes era o tempo de fluoroscopia, caso contrário, o computador não poderia dizer a diferença entre os grupos (BERRY M., 2006).

As simulações em animais vivos têm alta fidelidade, contudo alto custo e problemas éticos. A simulação usando placenta tem a vantagem de custo baixo, alta fidelidade, baixo risco, contudo consiste em simulação de uso único e incapacidade de reprodução de vasos cervicais de humanos (RIBEIRO DE OLIVEIRA, 2016).

Neste contexto inserem-se os simuladores com impressão de vasos em 3D. Os mesmos apresentam a vantagem de poder replicar ou reproduzir lesões e vasos específicos, respostas hápticas aceitáveis para o uso endovascular. A outra grande vantagem dos modelos de impressão 3D, usados em salas de hemodinâmica, é ser necessário que o estagiário se torne hábil com os controles do aparelho de hemodinâmica, uma habilidade que muitas vezes é aprendida por último. Um

aprendiz que seja eficiente com os controles do aparelho de hemodinâmica usará cones e colimadores de maneira mais eficaz e fluida com moderação, levando a uma menor dose de radiação para o paciente e para si próprio à longo prazo (MIRANPURI, 2013). Contudo estes aparelhos têm a desvantagem do custo depender do material a ser utilizado para confecção e modo de construção. A durabilidade depende do material, manutenção devido ao uso, em alguns casos, de fluidos e conexões, além da flexibilidade nem sempre ser semelhante a dos vasos (SEE, 2016).

A peça que simula o sistema arterial foi impressa em termoplástico PLA (Acido Polilático) em uma impressora 3D de tecnologia FDM (*fused deposition modeling*). Foi desenvolvido de forma oca, flexível, para uso sem fluidos e é constituído por uma única peça, não necessitando de conexões para se manter com curvas e ângulos semelhantes ao ser humano.

Uma limitação do nosso estudo e assim um próximo passo a ser dado, será a validação do simulador endovascular através de testes de usabilidade com residentes em neurorradiologia, neurocirurgia e cirurgia vascular. A implementação de um simulador prévio ao atendimento (treinamento) no paciente pode permitir o aprendizado mais efetivo com diversas funcionalidades a serem implementadas futuramente.

## **8. CONCLUSÃO**

Desenvolveu-se um simulador físico de sistema endovascular de simulação concreta aplicado ao ensino e treinamento de residentes em neurorradiologia, neurocirurgia e cirurgia vascular.

O trabalho atingiu seu objetivo, com o desenvolvimento de um simulador concreto funcional. Este simulador físico de Técnica Endovascular constitui um equipamento para o aprendizado dos residentes de com maior eficácia, mais eficiência e segurança, que pode existir em qualquer curso de Medicina, devido ao seu baixo custo.

## REFERÊNCIAS

ADAMS, H. P. et al. Guidelines for thrombolytic therapy for acute stroke: a supplement to the guidelines for the management of patients with acute ischemic stroke- a statement for healthcare professionals from a Special Writing Group of the Stroke Council. American Heart Association. **Circulation**, v. 94, p. 1167-74, 1996.

ASR, M. K. et al. The increasing role of percutaneous transluminal angioplasty in the primary management of critical limb ischemia. **Eur J Vasc Endovasc Surg** v. 23, p. 398, 2002.

BARR, J. D. et al; SIR Standards of Practice Committees. Quality improvement guidelines for the performance of cervical carotid angioplasty and stent placement. **AJNR Am J Neuroradiol**; v. 24, p. 2020-2034, 2003.

BATH, J.; LAWRENCE P. Why we need open simulation to train surgeons in an era of work-hour restrictions. **Vascular** v. 19, p. 175-177, 2011.

BERRY, M, et al. Assessment of a virtual interventional simulator trainer. **J Endovasc Ther**, 2006;13:237-4.

BENJAMIN, E. J; VIRANI, S.S, et al. Heart Disease and Stroke Statistics-2018 **Circulation**. 2018 Mar 20;137(12): 67-492.

BERKHEMER, O. A.; FRANSEN, P. S.; BEUMER, D. A randomized trial of intraarterial treatment for acute ischemic stroke. **N Engl J Med.**, V. 22, p.372-394, 2015.

BERMAN, M. F. et al. The epidemiology of brain arteriovenous malformations. **Neurosurgery**, v. 47, p. 389-396, 2000.

BROWN, R. D. et al. Incidence and prevalence of intracranial vascular malformations in Olmsted County, Minnesota, 1965 to 1992. **Neurology**, v. 46, p. 949-952, 1996.

CATES, C. U.; PATEL, A. D.; NICHOLSOM, W. J.. Use of virtual reality simulation for mission rehearsal for carotid stenting. **JAMA**, v. 297, n. 3, p. 265, 2007.

CHAER, R. A. et al. Simulation improves resident performance in catheter- based intervention e results of a randomized, controlled study. **Ann Surg**, v. 244, p. 343, 2006.

CLOFT, H. J. et al. Assessment of the interventional neuroradiology workforce in the United States: a review of the existing data. **AJNR Am J Neuroradiol**, v. 23, n. 10, p. 1700-1705, 2002.

COGNARD, C. Y. P et al. Cerebral dural arteriovenous fistulas: clinical and angiographic correlation with a revised classification of venous drainage. **Radiology**, v. 194, n. 3, p. 671-680,1995.

COSTA, G. O. F. **Modelo de treinamento para avaliar a progressão da competência na realização de nós e pontos em simulação de cirurgia laparoscópica**. 2018. 124 f. Tese (Doutorado em Ciências Médico-Cirúrgicas) - Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

DAY, A. L. et al. Training standards in neuroendovascular surgery: program accreditation and practitioner certification. **Stroke**. v. 48, p. 2318-25). 2017.

DEL ZOPPO, G. J. et al. Recombinant tissue plasminogen activator in acute thrombotic and embolic stroke. **Ann Neurol**, v. 32, n. 1, p. 78-86, 1992.

FIORELLA, D. et al. Definitive reconstruction of circumferential, fusiform intracranial aneurysms with the pipeline embolization device. **Neurosurgery**, v. 62, n. 1115-1120, 2008.

FIORELLA, D. et al. Should neurointerventional fellowship training be suspended indefinitely? **J Neurointerv Surg**. Sep; 4(5): 315-8, 2012.

JONES, T. H.; MORAWETZ, R.. Thresholds of focal cerebral ischemia in awake monkeys. **J Neurosurg** 54:773-782, 1981.

FORBEST, L, et al. Análise da falha cumulativa da curva de aprendizado com correção endovascular de aneurisma de aorta abdominal. **J Vasc Surg**. v. 39, n. 1, p.102-8, 2004.

GATTRINGER, T; POSEKANY, A.. Predicting Early Mortality of Acute Ischemic Stroke Score-Based Approach **Stroke**. 2019;50:349-356.

HARRIGAN, M. R.; DEVEIKIS, J. P.. **Third Edition Handbook of Cerebrovascular Disease and Neurointerventional Technique**. Originally published by Humana Press, USA 2009. Contemporary Medical Imaging ISBN 978-3-319-66777-5 ISBN 978-3-319-66779-9 (eBook) <https://doi.org/10.1007/978-3-319-66779-9>

HARTMANN, A. et al. Treatment of arteriovenous malformations of the brain. **Curr Neurol Neurosci Rep**, v. 7, p. 28-34, 2007.

HENKES, H. et al. Endovascular coil occlusion of intracranial aneurysms assisted by a novel self-expandable nitinol microstent (Neuroform). **Interv Neuroradiol**, v. 8, p. 107-119, 2002.

HENKES, H. et al. Treatment of intracranial atherosclerotic stenoses with balloon dilatation and self-expanding stent deployment (WingSpan). **Neuroradiology**, v. 47, p. 222-228, 2005.

HERRINGTON, W.; LACEY, B.. Epidemiology of atherosclerosis and the potential to reduce the global burden of atherothrombotic disease. **Circ Res**. 2016; 118:535-546.

HERZEELE IV, et al Cognitive training improves clinically relevant outcomes during simulated endovascular procedure. **J Vasc Surg**, v. 48, p. 1223-30, 2008.

HERZEELE IV, et al., Visuospatial and psychomotor aptitude predicts endovascular performance of inexperienced individuals on a virtual reality simulator. **J Vasc Surg**, v. 51, p. 1035-42, 2010.

HIGASHIDA, R. T. et al. Program requirements for residency/fellowship education in neuroendovascular surgery/interventional neuroradiology: a special report on graduate medical education. **AJNR Am J Neuroradiol**. v. 21, p. 1153-1159, 2000.

HISLOP, S. J. et al. Simulation case rehearsals for carotid artery stenting. **Eur J Vasc Endovasc Surg**, v. 38, n. 6, p. 750, 2009.

HSU, J. H, et al. Use of computer simulation for determining endovascular skill levels in a carotid stenting model. **J Vasc Surg**, v. 40, p. 1118e25, 2004.

JOHNSTON, I. H. et al. Vein of Galen malformation: diagnosis and management. **Neurosurgery**, v. 20, p. 747-758, 1987.

KASHYAP, V. S. et al. Trends in endovascular surgery training. **J Endovasc Ther**, v. 9, p. 633, 2002.

KASSEM-MOUSSA, H.; GRA AGNINO, C. No occlusion and spontaneous recanalization rates in acute ischemic stroke: a review of cerebral angiography studies. **Arch Neurol**, v. 59, n. 12, p. 1870-1873, 2002.

KLEINDORFER, D. et al. National US estimates of recombinant tissue plasminogen activator use: ICD-9 codes substantially underestimate. **Stroke**, v. 39, p. 924-28, 2008.

LAN Q. CHEN, et al. Development of three-dimensional printed Craniocerebral models for simulated neurosurgery. **World Neurosurg**. V. 91:434-442, 2016.

LAMONT, P. M.; SCOTT, D. J. A. The impact of shortening training times on the discipline of vascular surgery in the United Kingdom. **Am J Surg**, v. 190, p. 269, 2005.

LLOYD-JONES, D. et al. American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Sub-committee. Heart disease and stroke statistics-2009 update: a report from the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. **Circulation**, v. 119, n. 3, p. 480-486, 2009.

LUCARELLI, C. L.. **Avaliação dos diâmetros normais da aorta torácica e abdominal pela tomografia computadorizada**. Tese de doutorado da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. SP: São Paulo, 1995.

MARKS, M. P. et al. Angioplasty for symptomatic intracranial stenosis: clinical outcome. **Stroke**. v. 37, p. 1016-1020, 2006.

MAS J. L., CHATELLIER G.;BEYSSEN B.;BRANCHEREAU A.; MOULIN T.; BECQUEMIN J. P. et al. Endarterectomy versus stenting in patients with symptomatic severe carotid stenosis. **N Engl J Med**, 2006 Oct 19; 355(16):1660 e 1671.

MEILA D, GRIEB D, e col. Hydrocephalus. In: vein of Galen aneurysmal malformation: etiologies and therapeutic management implications. **Acta Neurochir** (Wien) 2016; 158:1279-84.

MEYERS, P. M. et al. Hemorrhagic complications in: vein of Galen malformations. **Ann Neurol**, v. 47, p. 748-755, 2000.

MILLER, G. E. The assessment of clinical skills/competence/performance. **Academic Medicine**, Philadelphia, v. 65, n. 9, p. S63-S67, Sep. 1990

MIRANPURI, A. S.. Neuroangiography simulation using a silicone model in the angiography suite improves trainee skills. **Journal of NeuroInterventional Surgery**, 6(7), 561-564. 2013.

NETTER, F. H. **The Ciba Collection of Medical Illustrations: nervous system**, Volume 1, 1983.

NOGUEIRA, R. G.; SCHWAMM, L. H.; HIRSCH, J. A. Endovascular approaches to acute stroke, I: Drugs, devices, and data. **AJNR Am J Neuroradiol**, v. 30, n. 4, p. 649, 2009.

NOGUEIRA, R, e col. Thrombectomy 6 to 24 Hours after Stroke with a Mismatch between Deficit and Infarct. **N Engl J Med**, v. 378 p. 11-21, 2018;

OGILVY, C. S. et al. AHA scientific statement: recommendations for the management of intracranial arteriovenous malformations: a statement for healthcare professionals from a special writing group of the Stroke Council, American Stroke Association. **Stroke**, v. 32, p. 1458-1471, 2001.

PESCHILLO, S. et al. Brain AVMs: An endovascular, surgical, and radio surgical update. **Sci World J.**, 2014.

RIBEIRO DE OLIVEIRA, M. M., et al. Face, content and construct validity of human placenta as a haptic training tool in neurointerventional surgery. **J Neurosurg**, v. 124, n. 5, p. 1238-44, 2016.

SAVER, J. L. Time is brain-quantified. **Stroke**, v. 37, n. 1, p. 263-266, 2006.

SEE, K. W. M. et al. Evidence for Endovascular Simulation Training: **A Systematic Review J Vasc Endovasc Surg**, v. 51, p. 441e451, 2016.

SMITH, W. S.; SUNG G.; STARKMAN S. *et al*; MERCI Trial Investigators. Safety and efficacy of mechanical embolectomy in acute ischemic stroke: results of the MERCI trial. **Stroke** 2005; 36(7):1432 -1438.

SPIOTTA, A.M.P, *et al*. Turner Diagnostic angiography skill acquisition with a secondary curve catheter: phase 2 of a curriculum- based endovascular simulation program. **J Neuro Intervent Surg**, v.0, p. 1-4, 2014.

SPIOTTA, A. M. P et al. Simulated diagnostic cerebral angiography in neurosurgical training: a pilot program. **Journal of NeuroInterventional Surgery** , v. 5, p. 376-3, 2013.

STAPF, C. et al. Predictors of hemorrhage in patients with untreated brain arteriovenous malformation. **Neurology**, v. 66, p. 1350-1355, 2006.

TAYLOR, T. N. et al. Lifetime cost of stroke in the United States. **Stroke**, v. 27, p. 1459-1466, 1996.

WANG, L, et al. Polymorphism in maternal LRP8 gene is associated with fetal growth. **J Hum Genet**, v. 78, p. 770-7, 2006.

WANZEL, K.R, et al. Effect of visual-spatial ability on learning of spatially-complex surgical skills. **Lancet**, p. 359-230, 2002.

WILLAERT, W. I. M. et al. Cheshire Eur Patient-specific Endovascular Simulation Influences Interventionalists Performing Carotid Artery Stenting Procedures. **J Vasc Endovasc Surg**, v. 41, p. 492, 2011.

WITYK, R. J. et al. Race and sex differences in the distribution of cerebral atherosclerosis. **Stroke**, v. 27, p. 1974-1980, 1996.

WOLPERT, S. M. et al. Neuroradiologic evaluation of patients with acute stroke treated with recombinant tissue plasminogen activator: the rtPA Acute Stroke Study Group. **AJNR Am J Neuroradiol**, v. 14, p. 3-13, 1993.

Z Aidat, O. O. et al. Demand-supply of neurointerventionalists for endovascular ischemic stroke therapy. **Neurology**, v. 79, n. 13, p. S35-S41, 2012.