

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

RAFAEL HEITOR CORREIA DE MELO

**Um Ambiente de Simulação para Treinamento de
Anestesia Raquidiana com Uso de Dispositivo
Háptico**

NITERÓI

2022

RAFAEL HEITOR CORREIA DE MELO

Um Ambiente de Simulação para Treinamento de Anestesia Raquidiana com Uso de Dispositivo Háptico

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do Grau de Doutor em Computação. Área de concentração: Ciência da Computação.

Orientador:
Aura Conci, D.Sc.

NITERÓI

2022

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

M528a Melo, Rafael Heitor Correia de
 Um Ambiente de Simulação para Treinamento de Anestesia
 Raquidiana com Uso de Dispositivo Háptico / Rafael Heitor
 Correia de Melo. - 2022.
 126 f.

 Orientador: Aura Conci.
 Tese (doutorado)-Universidade Federal Fluminense, Instituto
 de Computação, Niterói, 2022.

 1. Ambiente virtual. 2. Realidade Virtual. 3. Simulação.
 4. Retorno tátil. 5. Produção intelectual. I. Conci, Aura,
 orientadora. II. Universidade Federal Fluminense. Instituto de
 Computação. III. Título.

CDD - XXX


RAFAEL HEITOR CORREIA DE MELO

Um Ambiente de Simulação para Treinamento de Anestesia Raquidiana com Uso de Dispositivo Háptico

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do Grau de Doutor em Computação. Área de concentração: Ciência da Computação.

Aprovada em outubro de 2022.


BANCA EXAMINADORA



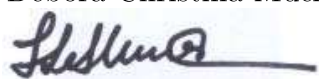
Profa. D.Sc. Aura Conci - Orientadora, UFF



Prof. D.Sc. Anselmo Cardoso de Paiva, UFMA



Prof. D.Sc. Débora Christina Muchaluat Saade, UFF



Prof. D.Sc. Fátima de Lourdes dos Santos Nunes Marques, USP



Prof. D.Sc. José Viterbo Filho, UFF

Niterói

2022

Dedico este trabalho a minha esposa, Evelyn, que sempre me apoiou na direção das minhas conquistas e ao meu filho, Rafael, que, ao chegar me apresentou uma nova forma de amar.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por me mostrar sempre os caminhos, mesmo nos momentos em que parece que isso não vai acontecer.

Aos meus pais Julio e Dayse pela preocupação e apoio. Aos meus irmãos Leonardo e Julia pela amizade e companheirismo essenciais nos momentos difíceis.

Agradeço muito a minha orientadora Aura, que mesmo nos momentos de desânimo conseguiu me trazer, em palavras, motivação para seguir em frente.

Ao amigo André que foi essencial em parte dessa caminhada.

À minha família, agradeço a compreensão pelas minhas ausências e minhas desculpas nos momentos de desânimo.

Resumo

As anestесias raquidianas são procedimentos cegos que dependem da sensação do médico no decorrer da inserção da agulha para correta identificação do local de aplicação do líquido anestésico. Em grande parte dos centros de treinamento, a primeira experiência tátil do médico em treino tende a ser praticada em pacientes reais. Esta prática, apesar de ser efetuada sob supervisão direta, pode trazer riscos para estes pacientes e inseguranças aos aprendizes. Técnicas alternativas de uso de *phantoms* e cadáveres no treinamento não permitem variar tanto as características físicas quanto são as variações de pacientes reais. Nesta tese foi desenvolvido um ambiente virtual para treinamento do procedimento que envolve anestесias raquidianas em gestantes. Considera-se o procedimento desde o toque do médico para identificação do local até a punção com *feedback* tátil, descritivo e visual usando técnicas de autotreinamento. As sensações táteis do médico em treinamento são simuladas no protótipo por meio da integração com dispositivo háptico. A geração e a visualização dinâmica de modelos de corpos de pacientes baseados em altura e peso foi desenvolvida a partir de uma criteriosa revisão bibliográfica de trabalhos anteriores, sendo uma parte muito importante deste trabalho. Foram feitos experimentos em que alunos do Instituto de Computação e médicos do Hospital Universitário da UFF validaram o ambiente de simulação desenvolvido em três fases distintas. Foram avaliadas a detecção das principais sensações hápticas envolvidas na perfuração de tecidos durante a raquia-anestesia, a usabilidade do sistema e o quanto este simula de fato um procedimento real. Foi criado e usado nesta tese um modelo adaptável de um corpo de gestante que possui modelagem de todas as camadas desde a pele das costas até os ossos da coluna vertebral. Foram modeladas, de forma dinâmica, as camadas de tecido mais variáveis para permitir uma maior variabilidade de cenários de treinamento. Finalmente, foi incluída também uma variação das etapas de treinamento de acordo com a detecção automática do nível de habilidade da pessoa na execução de cada procedimento. A depender do seu desempenho, pessoas terão que executar mais ou menos procedimentos durante o seu treinamento. Os erros são reportados durante cada procedimento para possibilitar a evolução na prática do aprendiz. Como resultado do teste de representação das sensações, o experimento mostrou que os voluntários conseguiram identificar os diferentes comportamentos desejáveis para

simulação da raquianestesia. A usabilidade do sistema foi avaliada como boa. A avaliação com os especialistas tornou possível uma comparação parcial com outro simulador reportado na literatura em termos de parte das respostas dos questionários. Os especialistas viram potencial no ambiente de simulação e consideraram este tipo de treinamento como útil.

Palavras-chave: Dispositivo háptico, Treinamento médico, Anestesia raquidiana, Realidade virtual, Ambiente virtual, Paciente virtual, Simulação, Retorno tátil.

Abstract

Spinal anesthesia is a blind procedure where physicians rely on manual feedback to guide their movements through needle insertion. The aim is to identify drug administration locations correctly. For many training centers, the first tactile experience of anesthetists in training occurs in an actual patient under direct supervision. Besides this supervision, there are risks associated with this approach for patients and apprentices. Using phantoms and dead bodies for training offers a low range of scenarios compared to the variability of actual patients. In this thesis, we developed a virtual environment for training the procedure that involves spinal anesthesia in pregnant women. Both doctor's touch to identify the puncture site and the puncture itself with tactile, descriptive, and visual feedback using self-training techniques were taking into account. The tactile sensations of the physician in training are simulated in the prototype through integration with a haptic device. The dynamic generation and visualization of models of patients' bodies based on height and weight was developed from a careful bibliographic review and is a significant part of this work. We carried out experiments where students of Computer Institute and medical doctors from the University Hospital of UFF validated the simulation environment developed in three distinct phases. The detection of the primary haptic sensations involved in tissue perforation during spinal anesthesia, the usability of the system, and how much it simulates an actual procedure were evaluated. An adaptable model of a pregnant woman's body was created and used in this thesis, which models all layers, from the skin of the back to the spine's bones. The most variable tissue layers were dynamically modeled to allow for more significant variability of training scenarios. Finally, a variation of the training steps was also included according to the automatic detection of the person's skill level in performing each procedure. Depending on their performance, people will have to perform more or fewer procedures during their training. Errors are reported during each procedure to enable the evolution of the learner's practice. As a result of the sensation representation test, the experiment showed that the volunteers could identify the different desirable behaviors for simulating spinal anesthesia. The usability of the system was evaluated as good. The experts' evaluation made it possible to compare with another simulator reported by literature regarding part of the questionnaire responses.

Experts saw potential in the simulation environment and found this training type helpful.

Keywords: Haptics, Medical training, Spinal anesthesia, Virtual reality, Virtual environment, Virtual patient, Simulation, tactile feedback.

Lista de Figuras

1	Punção lombar com agulha de raquianestesia (68).	13
2	Gotejamento do <i>líquor</i> , indicação do local correto para a raquianestesia (68).	13
3	Ilustração da crista ilíaca através de duas imagens dos ossos da pelve (84). Nas imagens a indicação de elementos que não estão diretamente relacionados à crista ilíaca foram embaçados de forma a simplificar a visualização desta: (a) Vista frontal (b) Vista lateral.	13
4	Palpação para determinação do ponto de inserção da agulha (68).	20
5	Aplicação da anestesia local (68).	20
6	Representação dos planos anatômicos (21).	21
7	Ilustração da abordagem mediana e paramediana para inserção de agulha (76).	22
8	Injeção do líquido anestésico no espaço subaracnóideo (68).	23
9	Camadas cruzadas pela agulha numa punção lombar Esta imagem foi construída em cores a partir de uma imagem em preto e branco fornecida pela EBM <i>Consult</i> (25).	23
10	Tipos de sistemas háptico (33).	27
11	Dispositivo háptico Novint Falcon ® (51)	28
12	Dispositivo háptico Geomagic Touch ® / Phantom Omni ® (1).	28
13	Dispositivo háptico Geomagic Touch X ® / Phantom Desktop ® (1).	29
14	Dispositivo háptico Phantom Premium ® (1).	29
15	Ilustração dos graus de liberdade de movimento do háptico Touch ®.	30
16	Demonstração de uso do simulador SimULab Lumbar Epidural Trainer (107): (a) Inserção da agulha (b) Exame de ultrassom.	35

17	Demonstração de uso do simulador <i>Nasco Life/form® Spinal Injection Sim</i> (87).	36
18	Blue Phantom Lumbar Puncture and Spinal Epidural (16): (a) Manequim (b) Uso do ultrassom (c) Escorrimento do líquido do manequim.	36
19	Demonstração do simulador S411 Lumbar Puncture Trainer (46): (a) Kit (b) Inserção da agulha.	37
20	M43E <i>Ultrasound Compatible Lumbar Puncture/Epidural Simulator</i> (64). .	37
21	Epidural Sim em uso (116).	39
22	Imagens de exemplo das duas versões do <i>Epidural Injection Simulator</i> : (a) <i>Versão mais nova: Profile Manager</i> (b) Versão antiga: EIS (descontinuado) (32).	40
23	Aparelho e visual do <i>Mediseus® epidural simulator</i> (73).	41
24	Forma de uso do <i>Spinal Anaesthesia Simulator</i> (34).	41
25	Imagem do simulador <i>EpiSim</i> (43).	42
26	Interface do simulador de punção lombar de Farber et al. (41) com opções de visualização 2D e 3D disponíveis.	43
27	Uso do simulador demonstrando os dispositivos utilizados (41).	43
28	Exemplo de uso do simulador epidural de Dubey (35).	44
29	Interface do simulador EHGS (19).	45
30	Interface do simulador Epidural de Senac (103).	45
31	Visão geral do uso do USEIT com as customizações visíveis (83).	46
32	Ambiente virtual do USEIT (83).	46
33	Modelo 3D de corpo de mulher grávida desenvolvido com diferentes níveis de transparência (77): (a) Corpo, ossos e músculos (b) Osso, vértebras e ligamentos.	52
34	Visão geral do sistema com tronco de paciente centralizada na tela na posição sentada. Do lado inferior direito a visão lateral desta mesma parte do corpo. Neste caso, foi aplicada a transparência para visualização das camadas internas	54

35	Visão geral do sistema com tronco de paciente na posição deitada.	54
36	Média e desvio padrão da DEE estimada para as populações de cada grupo de grávidas separadas pelo local dos estudos e grupos distintos.	56
37	IMC x DEE para os grupos populacionais em comparação a equação genérica.	57
38	Troncos com extremos de IMC via parâmetro na posição lateral com <i>wire-frame</i> : (a) Menor IMC (b) Maior IMC.	60
39	Ilustração dos troncos das pacientes cadastradas renderizados no sistema juntamente com a visão lateral do maior para o menor IMC.	61
40	Exemplos de variação na altura do tronco por alteração em 20% para mais e para menos.	61
41	Fluxograma descrevendo tudo o que envolve a execução de cada novo procedimento no ambiente desenvolvido. Em branco estão as funcionalidades opcionais, em amarelo as interações que são feitas através de botões do háptico ou do teclado, em verde as interações que possuem retorno de forças do háptico e em vermelho as avaliações e retornos dados pelo sistema ao usuário.	63
42	Elementos 3D de interação com o ambiente representativos do: (a) Dedo (b) Seringa para anestesia local (c) Agulha de raquianestesia.	64
43	Visão lateral do corpo da paciente com aproximação da agulha de raquianestesia com a seringa conectada.	64
44	Ilustração de <i>feedback</i> do ambiente após finalização de um primeiro procedimento onde a raquianestesia foi aplicada em local incorreto.	66
45	Exemplo de <i>feedback</i> do ambiente após finalização de um segundo procedimento onde a seringa foi inserida mais de três vezes no corpo da paciente e partes indevidas foram tocadas.	66
46	Exemplo de <i>feedback</i> do ambiente após finalização de um terceiro procedimento, onde o usuário não fez a palpação para escolher o ponto de inserção da agulha e nem aplicou a anestesia local antes de inserção da agulha de raquianestesia.	67
47	Tela do sistema após finalização de um quarto procedimento em que todo o procedimento foi executado de forma correta.	67

48	Exemplo de <i>feedback</i> do ambiente após finalização de um quinto procedimento onde só não foi feita a palpação para determinação do ponto de inserção da agulha.	68
49	Exemplo do <i>feedback</i> do modo tutorial no ambiente no início do procedimento.	69
50	Exemplo do <i>feedback</i> do modo tutorial no ambiente após a escolha do ponto de inserção da agulha via palpação.	69
51	Tela do sistema no modo tutorial após a anestesia local ter sido efetuada. .	70
52	Demonstração do ambiente funcionando com a transparência das camadas ativada. A informação da camada atualmente tocada pela agulha está marcada em vermelho.	71
53	Aplicativo de exemplo usado para nivelar conhecimento. Dois objetos virtuais para interação com uma agulha virtual. No lado esquerdo um objeto com 3 camadas de tecido e uma de osso e a direita um objeto com uma camada de tecido e outra de osso.	74
54	Aparência visual dos experimentos 1 e 2. Na esquerda a vista de frente e na direita com fundo branco a vista lateral. As diferenças nas dimensões ocorrem somente na profundidade das camadas internas.	75
55	Os objetos 3D representam as camadas de cada experimento: (a) Primeiro experimento (b) Segundo experimento.	76
56	Relação entre força e o deslocamento da agulha média considerando dez simulações no experimento 1.	78
57	Relação entre força e o deslocamento da agulha da média de dez simulações no experimento 2.	78
58	Montagem do ambiente de treinamento em uso durante os testes de usabilidade.	83
59	Montagem do ambiente de treinamento em uso durante as avaliações com especialistas na posição sugerida inicial.	88
60	Montagem do ambiente de treinamento em uso durante as avaliações com especialistas com posicionamento adaptado a preferência dos voluntários: (a) Para uso em pé (b) Com dispositivo háptico a frente do computador simulando a agulha em frente ao paciente.	89

Lista de Tabelas

1	Variáveis e unidades de medida utilizadas no texto.	31
2	Equações para estimativa da DEE em grávidas.	31
3	DEE estimados para os grupos populacionais de (105).	32
4	Descrição das populações por estudos.	32
5	Comparação dos simuladores baseados em <i>phantoms</i>	38
6	Comparação das principais características dos simuladores computacionais.	50
7	Equações resultantes do uso do métodos dos mínimos quadrados nos dados de Sharma et al. (105).	55
8	Dados populacionais gerados aleatoriamente.	56
9	Pontos para formarem a nota final de cada procedimento.	65
10	Características dos voluntários dos testes em cada fase.	72
11	Configurações das propriedades do <i>plugin</i> do háptico usadas no primeiro experimento.	77
12	Configurações das propriedades do <i>plugin</i> do háptico usadas no segundo experimento.	77
13	Configurações das propriedades do <i>plugin</i> do háptico usadas no ambiente de simulação desenvolvido para cada uma das camadas modeladas no tronco da paciente virtual.	84
14	Média e desvio padrão das respostas ao questionário de usabilidade em relação ao ambiente de simulação desenvolvido nesta tese.	86
15	Distribuição das respostas da questão 11.	87
16	Comparativo das respostas às questões similares coletadas para o nosso ambiente de simulação e o simulador de Färber et al. (40), média (desvio padrão).	91

17	Média e desvio padrão das demais respostas ao questionário apresentado aos especialistas em relação ao ambiente de simulação desenvolvido nesta tese.	91
----	---	----

Lista de Abreviaturas e Siglas

DEE Distância da pele até o espaço epidural

DoF degrees of freedom

IMC Índice de Massa Corporal

LoR Lost of Resistence

RM Ressonância Magnética

RU Reino Unido

RV Realidade Virtual

SUS System Usability Scale

TC Tomografia Computadorizada

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Definição do problema	16
1.2	Objetivos	16
1.3	Estrutura da Tese	17
2	Fundamentação Teórica	19
2.1	Anestesias	19
2.1.1	Anestesia Raquidiana	21
2.1.2	Anestesia Peridural	24
2.2	Realidade Virtual	24
2.3	Dispositivos Hápticos	25
2.4	Modelagem de tecidos	30
3	Trabalhos Relacionados	34
3.1	Simuladores que só usam <i>phantoms</i>	35
3.2	Simuladores computacionais	39
3.3	Comparação entre os simuladores estudados e o proposto nesta tese	47
4	Materiais e métodos	51
4.1	Desenvolvimento do ambiente de treinamento	52
4.1.1	Simulação de pacientes virtuais	54
5	Implementação do Sistema desenvolvido	63

6	Testes	72
6.1	Simulação das sensações	73
6.1.1	Questionário	79
6.1.2	Respostas	80
6.1.3	Avaliação dos resultados	80
6.1.3.1	Resistência à punção	80
6.1.3.2	Comportamento elástico	81
6.1.3.3	Comportamento plástico	82
6.2	Testes de usabilidade	82
6.2.1	Questionário	83
6.2.2	Respostas	85
6.2.3	Avaliação dos resultados	86
6.3	Avaliações com especialistas	87
6.3.1	Questionário	88
6.3.2	Respostas	90
6.3.3	Avaliação dos resultados	92
7	Considerações Finais	94
7.1	Conclusão	95
7.2	Limitações	96
7.3	Trabalhos Futuros	97
	REFERÊNCIAS	99
	Apêndice A - Projeto aprovado no comitê de ética via plataforma Brasil	118

1 Introdução

Nas anestесias raquidianas os anestесistas dependem da sua sensação tátil durante a inserção da agulha no paciente para a correta identificação do local de aplicação do líquido anestесico. O local de aplicação da raquidiana é conhecido como espaço subaracnóideo (81)). Para que o anestесista reconheça a chegada da agulha neste local ele precisa reconhecer os tecidos perfurados no caminho dela. As anestесias possuem técnicas específicas para identificação dos seus espaços de aplicação. Para que os médicos dominem a técnica da anestesia raquidiana é estimado que são necessários 44 ± 6 repetições de execução deste tipo de procedimento (63). A confirmação de que o local adequado foi atingido na anestesia raquidiana é feita através da observação do vazamento, por meio da agulha de punção, do líquido cérebro espinhal ou cefalorraquidiano (*líquor*). As Figuras 1 e 2 ilustram dois momentos importantes da anestesia raquidiana retirados do vídeo de Londero (68) disponível no link¹. Na Figura 1 é mostrado o momento de inserção da agulha para punção lombar e na Figura 2 é mostrado o vazamento, através da agulha de punção, do *líquor*, o que acontece alguns segundos após a agulha estar corretamente posicionada no espaço subaracnóideo. Neste tipo de anestesia é usada uma agulha de menor diâmetro do que a agulha utilizada na anestesia epidural (81). O ultrassom é uma ferramenta eficiente para auxílio na determinação do espaço onde a agulha precisa ser inserida, (53, 114) bem como na definição da espessura das diversas camadas de tecido (61). Existem, inclusive, soluções desenvolvidas para interpretação de imagens de ultrassom que vem sendo estudadas para substituir a apalpação do anestесista na determinação do ponto de inserção da agulha (89). Porém, o uso de equipamentos de ultrassom para este fim não é uma realidade em muitos centros no Brasil (49). O uso deste equipamento ou qualquer outra técnica (14), portanto, não faz parte do treinamento de muitas faculdades de medicina para anestесias raquidianas. A determinação do ponto de inserção da agulha no treinamento, assim como no procedimento real em pacientes, é comumente feita fazendo uso de referências anatmicas através da apalpação da crista ilíaca do paciente. A crista ilíaca pode ser observada nas imagens da Figura 3 (84).

¹https://www.youtube.com/watch?v=Dl8ijvHVTuY&ab_channel=CLAUDINEILONDERO

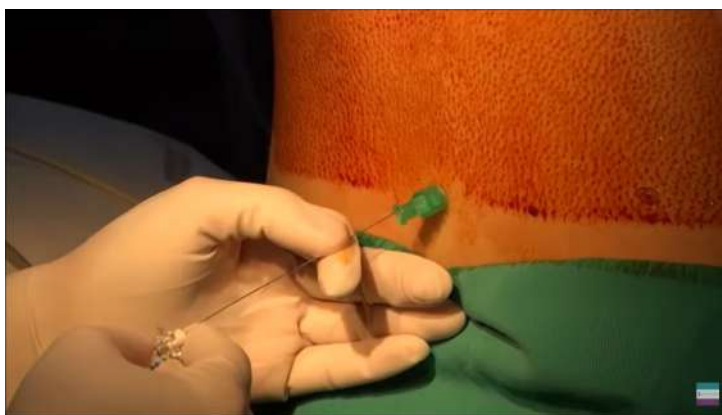


Figura 1: Punção lombar com agulha de raquianestesia (68).



Figura 2: Gotejamento do *líquor*, indicação do local correto para a raquianestesia (68).

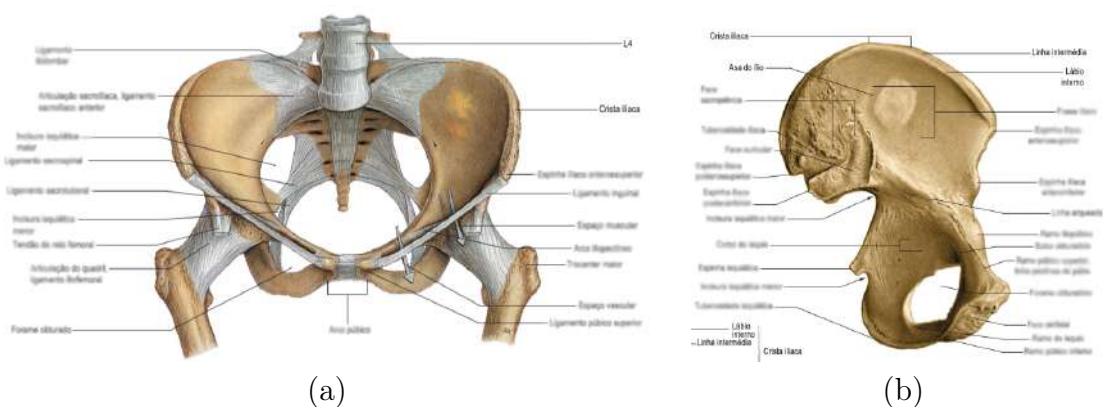


Figura 3: Ilustração da crista ilíaca através de duas imagens dos ossos da pelve (84). Nas imagens a indicação de elementos que não estão diretamente relacionados à crista ilíaca foram embaçados de forma a simplificar a visualização desta: (a) Vista frontal (b) Vista lateral.

A principal abordagem de treinamento para técnicas de anestesia envolve a observação da aplicação das técnicas por anestesiologistas experientes (124). Estes orientam verbalmente os aprendizes conforme cada um dos passos é executado. Adicionalmente a isto são usados: desenhos 2D, cadáveres para demonstração do procedimento, apresentação de vídeos das

técnicas sendo executadas em pacientes, visualização 3D (124) e técnicas de simulação. No que diz respeito ao treinamento das sensações táteis, além do uso de cadáveres, alguns simuladores fazem uso de bonecos com tecidos artificiais, denominados *phantoms*, que simulam pacientes (34, 64, 71). Um ponto negativo importante no uso de *phantoms* e de cadáveres, talvez o principal, é a baixa representatividade no que diz respeito a reprodução da situação real, pois estes oferecem uma baixa variabilidade de cenários (variações possíveis dos corpos dos pacientes) para treinamento. Este fato fica notório na análise destes tipos de simuladores feita na Seção 3.1. A maior quantidade de tipos de corpos representado pelos *phantoms* nos simuladores estudados foi de 4, enquanto é sabido que a variabilidade das estruturas corporais, mesmo em uma população pequena, é muito maior do que isso. Outro aspecto relevante no uso de *phantoms* é a necessidade de reposição de peças que se desgastam com o uso e podem ter custos altos. Estes são alguns dos motivos para que em diversos hospitais a primeira experiência do anestesista em treinamento seja efetuada diretamente em um paciente (4, 48, 109, 126). Esta prática, apesar de ser efetuada sob supervisão direta de médicos experientes, pode trazer riscos para as pessoas que são anestesiadas (pacientes) e uma maior propensão a inseguranças por parte dos aprendizes (38).

O uso de simuladores para adquirir certo grau de habilidade antes de iniciar o procedimento em pacientes minimiza os riscos tanto para o aprendiz quanto para o paciente não só na anestesia (39, 131), como em diversas outras áreas da medicina (7, 9, 50). A existência de diversos cenários em simuladores como os que usam Realidade Virtual (RV) auxilia e motiva o ensino e possibilita ao aprendiz ter experiência com situações mais variadas assim como aumenta a segurança dos alunos. Essa técnica tem também a vantagem de possibilitar que a avaliação do desempenho destes seja feita de forma automatizada e padronizada (128).

Estes simuladores com frequência usam diferentes níveis variando as dificuldades (119). Possibilitam a redução ou eliminação de custos de manutenção de equipamentos e laboratórios físicos bem como evitam a necessidade de estruturação de laboratórios (106). Esta variabilidade de cenários dificilmente aconteceria na vida real em centros onde o ensino é feito diretamente em pacientes (118). No cenário de treinamento diretamente em pacientes, a experiência inicial de cada anestesista pode ser muito distinta uma vez que estas dependem da estrutura corporal do paciente atendida por cada residente. Esta não é uma abordagem ideal para treinamentos uma vez que cria uma dependência no que diz respeito à experiência tátil dos anestesistas novatos em uma variável que não está sob o controle do profissional responsável pelo treinamento. Cada aluno pode vir a ter uma

gama diferente de experiências a depender das características físicas dos pacientes em que este teve suas primeiras experiências. Isto impacta o nivelamento do ensino.

Diversos simuladores utilizam dispositivos de força háptica (*force feedback*) para auxiliar o aprendiz a experimentar fisicamente as sensações de resistência modeladas para os tecidos ao praticar procedimentos médicos. Este tipo de abordagem é usada em procedimentos médicos de um modo geral (39, 93), assim como no caso mais específico dos procedimentos de anestesia (122, 30). Existem muitas outras formas de como o uso de ferramentas computacionais pode auxiliar no campo da anestesia. Um exemplo é no controle automatizado de quanto anestésico aplicar a partir de respostas de medições dos níveis de consciência do paciente (79). Outro exemplo, é uso da imersão RV durante a cirurgia em conjunto com a anestesia como forma de reduzir a dor e estimular o relaxamento, diminuindo a ansiedade e possivelmente a quantidade de anestésico necessário (36).

Corrêa et al. (31), na sua análise do estado da arte, relataram que as avaliações da percepção humana são pouco exploradas no campo da interação háptica para treinamento de inserção de agulhas. Eles também citam a predominância de testes subjetivos para validação das soluções propostas por parte dos usuários. Alguns trabalhos fazem uso de análises subjetivas usando gráfico de profundidade da agulha versus tempo como em Magill et al. (70).

O trabalho desta tese foi iniciado com a apresentação do simulador de Brazil (18) para um anestesista com o intuito de agregar a este simulador outro tipo de anestesia, no caso a anestesia raquidiana. A proposta inicial desta tese propunha a utilização destes simuladores para a avaliação de ganho de conhecimento no treinamento de novos anestesistas com o uso do simuladores em comparação com a ausência do seu uso. A opinião do especialista foi de que este tipo de avaliação seria mensurável de forma mais concreta para o simulador de raquianestesia. A partir de estudos do estado da arte foi observado que os simuladores que possibilitam a anestesia raquidiana não contemplam algumas das principais características desejáveis para a correta representação do procedimento como, por exemplo, a apalpação da coluna para determinação do ponto de inserção da agulha. Com isto, um simulador de anestesia raquidiana foi construído visando atender as principais demandas do treinamento das sensações envolvidas neste procedimento. Na literatura estudada foram adotadas diversas formas de abordar o problema do treinamento de anestésias regionais. Simuladores deste tipo possuem muitas características relevantes, o que faz com que o foco no atendimento em algumas geralmente venha a comprometer outras. Grande parte dos simuladores computacionais de anestesia estudados apresenta como op-

ção para o usuário somente a simulação de anestésias epidurais e não de raquianestésias, que é o foco desta tese.

A apresentação de cenários de treinamento virtuais que simulam a possibilidade de visualização e sentimentos táteis que são vivenciados no procedimento real visa aproximar a prática de treino virtual da posterior prática em pacientes reais. Desta forma, possibilita um maior sentimento de segurança por parte dos anestesiistas aprendizes. A aplicação de transparência em camadas foi uma das técnicas que foi incluída no ambiente virtual de treinamento criado nesta tese. Esta funcionalidade permite a visão do interior do corpo o que facilita o entendimento do aprendiz no que diz respeito à teoria do procedimento. Esta conexão da teoria com a prática é um grande trunfo no uso da Realidade Virtual (RV) em simuladores para treinamento. Neste caso, o realismo na apresentação dos elementos envolvidos no treinamento tem um papel importante. Seja a representação 3D da agulha, do corpo ou das camadas internas que possam ser visualizadas.

1.1 Definição do problema

Esta tese de doutorado define a seguinte questão de pesquisa a ser estudada e solucionada por este trabalho.

Questão 1. *É possível criar uma ferramenta virtual para treinamento médico que auxilie no treinamento do procedimento de raquianestesia a partir do uso de realidade virtual e com dispositivo háptico, de forma a simular este procedimento desde a palpação da coluna (para determinação do ponto de inserção da agulha)?*

Dentre os simuladores de raquianestesia computacionais atuais não existe um que contemple na simulação a palpação do corpo pelo médico anestesiista para determinação do ponto de inserção da agulha. Esta opção existe para somente dois simuladores de anestesia epidurais estudados nesta tese sendo que somente em um deles este procedimento é feito de maneira 100% virtual como propomos neste trabalho. O simulador epidural que possibilita simulação de apalpação não teve a sua solução avaliada por especialistas.

1.2 Objetivos

Esta tese tem o seguinte objetivo geral:

Contribuir, através de um ambiente virtual, com o treinamento médico do procedi-

mento de anestesia raquidiana em gestantes, contemplando todas as sensações hápticas envolvidas, desde a palpação para determinação do ponto de inserção da agulha até a administração do anestésico no local correto. A ideia é prover um aprendizado prático, didático e mais completo dos anestesistas, minimizando o risco para os pacientes e o estresse para os anestesistas em treinamento. Este treinamento será padronizado no sentido das técnicas que precisarão ser dominadas pelos usuários treinados. O ambiente irá fazer com que os usuários que demonstrarem melhor desenvoltura nas etapas iniciais evoluam mais rapidamente pelas etapas de demonstração de habilidades já entendidas e aprendidas.

Dentre os objetivos específicos pode-se destacar:

1. Empregar dispositivos hápticos como meio de interação para simular os sentimentos táteis do médico (de forma semelhante ao procedimento real em treinamento);
2. Dar retorno ao usuário em relação as ações feitas corretas e incorretas no que diz respeito ao procedimento visando auxiliar na evolução do seu desempenho.

Possibilitar variações das situações possíveis de ocorrer em relação às características físicas das pacientes;

Desenvolver modelagens que mapeiam as características físicas na visualização;

Possibilitar visualização dos tecidos internos no momento da anestesia para auxílio no aprendizado inicial.

Utilizar técnicas de realidade virtual na representação da paciente e dos equipamentos usados no procedimento em ambiente 3D interativo;

1.3 Estrutura da Tese

O restante do texto está estruturado da seguinte forma. O Capítulo 2 comenta os principais conceitos e tecnologias envolvidas no desenvolvimento do ambiente de treinamento proposto.

O Capítulo 3 contém os trabalhos relacionados a esta tese assim como o posicionamento deste trabalho frente aos demais.

No Capítulo 4 é apresentada a especificação do ambiente de treinamento que foi desenvolvido durante esta tese.

A implementação do ambiente de treinamento que foi desenvolvido durante esta tese está descrita no Capítulo 5.

O Capítulo 6 apresenta os experimentos que foram feitos e uma avaliação destes em relação aos seus resultados.

Por fim, o Capítulo 7 conclui o trabalho, apresentando as conclusões, realçando as contribuições desta tese e apontando as limitações e os trabalhos futuros.

2 Fundamentação Teórica

Este capítulo relaciona os conceitos e as tecnologias envolvidas no desenvolvimento do ambiente de treinamento proposto.

2.1 Anestesias

Anestesias são atualmente usadas em diversos procedimentos cirúrgicos na medicina tradicional com o intuito de bloquear temporariamente a capacidade do cérebro de reconhecer um estímulo doloroso (96). O seu uso visa possibilitar ao médico a execução de procedimentos ao mesmo tempo que mantém o conforto e a tranquilidade do paciente. Anestesias podem ter ação geral, regional ou local. Na anestesia geral a ação do anestésico é no cérebro, impedindo que este reconheça os sinais de dor que recebe. Este tipo de anestesia é normalmente utilizado para efetuação de cirurgias de alto grau de complexidade com o paciente inconsciente. Anestesias regionais são intervenções na medula espinhal impedindo que sinais de dor vindo de nervos periféricos cheguem até o cérebro. Este tipo de anestesia é recomendado para cirurgias menos complexas onde o paciente permanece acordado. Este tipo de anestesia bloqueia a dor em apenas uma determinada região do corpo, como um braço, uma perna ou toda região inferior do corpo, abaixo do abdômen. A anestesia local é o tipo de anestesia mais comum e ocorre através da atuação nos receptores da dor da pele e nervos mais superficiais. Este tipo de anestesia, diferentemente das demais, não é de administração restrita aos anestesiistas. Ela é comumente utilizada antes de uma anestesia regional através de injeção mas também pode ser administrada através de gel ou spray (81).

Os dois tipos de anestésias regionais mais usados são: a raquidiana e a peridural ou epidural. Ambas podem ser aplicadas com pacientes sentados e inclinados para frente ou deitados de lado (96). Uma vez que estes dois tipos de anestesia possuem algumas similaridades, ambos foram descritos por que neste trabalho foram comparados os simuladores existentes destes dois tipos de anestesia de forma a aumentar a abrangência de avaliação.

Tanto na anestesia raquidiana quanto na peridural, após a finalização dos procedimentos de preparação é escolhida a área onde será feita a punção. Conforme já comentado anteriormente, isto é comumente feito através da palpação, que é o toque da mão do médico (Figura 4) na crista ilíaca do paciente (53, 59). Uma vez escolhido este ponto é feita a injeção de anestésico local (Figura 5) para reduzir o desconforto na área próxima à punção (81) Após a anestesia local é feita a inserção da agulha de punção tanto no caso da peridural como na raquianestesia.



Figura 4: Palpação para determinação do ponto de inserção da agulha (68).



Figura 5: Aplicação da anestesia local (68).

Existem duas principais abordagens de inserção da agulha para efetuação das anestésias regionais. Estas são denominadas mediana (*midline*) e paramediana (*paramedian*). A abordagem mediana é tida como a mais tradicional e, portanto, utilizada com mais frequência. No estudo de Wantman; Hancox; Howell (125) conduzido no Reino Unido esta foi a abordagem escolhida por 96% dos anestesiologistas. Um dos motivos para o maior uso da abordagem mediana é a ausência de vasos sanguíneos no caminho da agulha nesta abordagem (13). A abordagem paramediana é mais recomendada para pacientes idosos (6), devido à modificação degenerativa da coluna vertebral (17) e calcificação dos liga-

mentos interespinhoso e supra-espinhoso (125). A abordagem paramediana também pode ser mais viável que a mediana em pacientes obesos pela dificuldade na identificação da crista ilíaca nestes pacientes. Isto porque a camada de gordura faz com que a linha média seja mais difícil de localizar através da palpação do médico (35). Na abordagem mediana a agulha é inserida na linha média da coluna vertebral sendo feita sobre o plano sagital que pode ser observado na Figura 6. Na paramediana existe certa angulação lateral entre a linha da coluna e a inserção da agulha. É feita, portanto, uma movimentação da agulha no plano axial. As duas abordagens podem ser observadas no corte transversal da coluna na Figura 7.

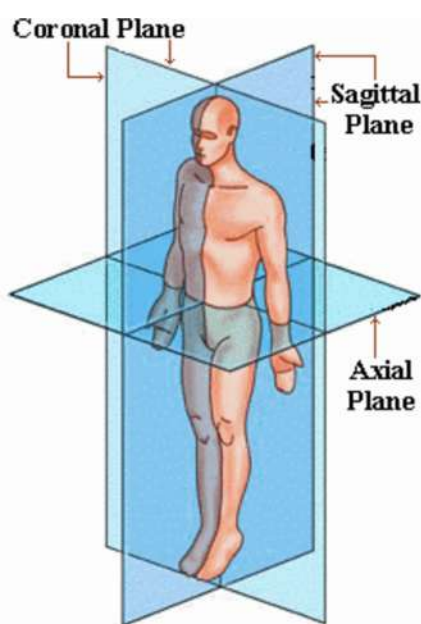


Figura 6: Representação dos planos anatômicos (21).

2.1.1 Anestesia Raquidiana

A anestesia raquidiana, também chamada de bloqueio subaracnóideo ou raquianestesia, é o nome dado quando a anestesia envolve a aplicação de um anestésico local no interior do espaço subaracnóideo. A posição ideal para a realização desta anestesia deve posicionar o paciente com a coluna lombar de modo que as vértebras fiquem fletidas para frente. É muito importante que seja feito um movimento na coluna de flexão, criando uma convexidade para trás (10).

Existem duas principais formas para executar a raquianestesia. Na primeira, o paciente fica deitado de lado com as pernas dobradas, joelhos no abdômen e cabeça flexionada até que o queixo encoste no peito. Na segunda, o paciente fica sentado com as mãos nos

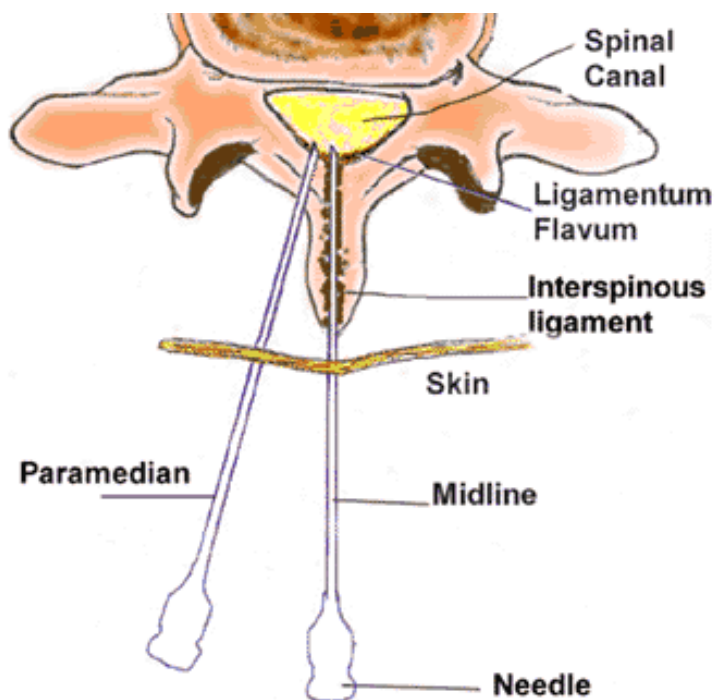


Figura 7: Ilustração da abordagem mediana e paramediana para inserção de agulha (76).

joelhos, ombros relaxados e queixo no peito (10).

Neste tipo de anestesia, uma agulha de pequeno calibre é inserida nas costas do paciente até atingir o espaço subaracnóideo (localizado após a dura-máter), dentro da coluna espinal. Em seguida, um anestésico é injetado dentro do líquido cérebro espinal (*liquor*), produzindo dormência temporária e relaxamento muscular (Figura 8). Anestesias raquidianas são aplicadas de forma mais frequente em espaços intervertebrais abaixo da segunda vértebra lombar (L2) e acima da quinta (L5), normalmente entre a L3 e L4 (127, 68). A Figura 9 ilustra, em um corte sagital da coluna, as diferentes camadas que são cruzadas por uma agulha durante o procedimento de punção lombar até chegar ao espaço subaracnóideo. Considerando as duas abordagens de inserção da agulha (mediana e paramediana) as camadas onde a agulha pode passar desde a pele até o espaço subaracnóideo são: gordura subcutânea, músculo, ligamento supra-espinhoso, ligamento interespinhoso, ligamento amarelo (*flavum*), espaço epidural e dura-máter. O processo espinhoso que também aparece entre a pele e o espaço subaracnóideo na Figura 9 não foi listado, pois, por ser uma camada de osso, ela não é perfurada pela agulha. Os ossos são camadas intransponíveis em relação ao processo de punção. A abordagem paramediana evita a passagem pelos ligamentos supra-espinhoso e interespinhoso, fazendo com que, após a camada de músculo, se atinja diretamente o ligamento amarelo. Já na abordagem mediana, usualmente, não se passa pela camada de músculo.



Figura 8: Injeção do líquido anestésico no espaço subaracnóideo (68).

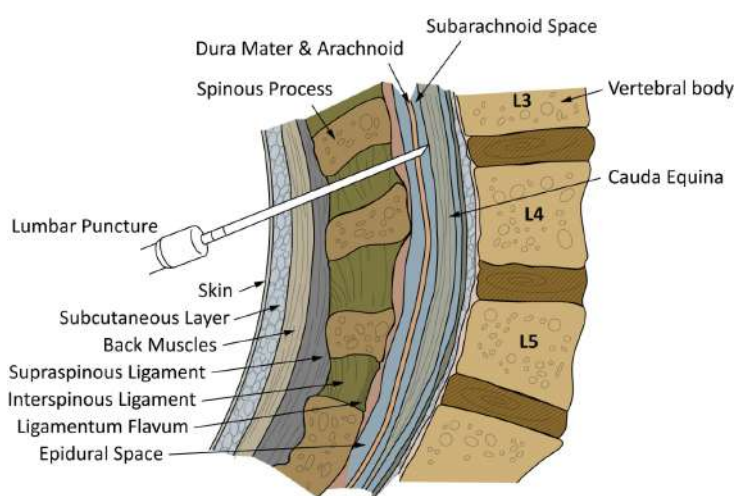


Figura 9: Camadas cruzadas pela agulha numa punção lombar Esta imagem foi construída em cores a partir de uma imagem em preto e branco fornecida pela EBM Consult (25).

A ação do anestésico dentro da coluna espinhal é a de bloquear os nervos que passam pela coluna lombar, fazendo com que os estímulos dolorosos vindos de membros inferiores e do abdômen não cheguem ao cérebro. A raquianestesia é muito usada para procedimentos ortopédicos de membros inferiores, assim como na região abdominal e cirurgias obstétricas de parto normal e cesarianas (94).

A grande vantagem da anestesia raquidiana em relação a peridural é que nesta é necessário o uso de uma pequena quantidade de anestésico local. Esta característica reduz consideravelmente o risco de intoxicação pelo elemento anestésico. Por outro lado, a maior desvantagem no uso deste tipo de anestesia está na dor de cabeça que os pacientes sentem após a perfuração da dura-máter. Este sintoma é causado pela lesão na dura-máter que pode permanecer aberta por alguns dias após o procedimento, provocando perda do *líquor* do espaço subaracnóideo. Com o uso de agulhas de menor diâmetro, a incidência desta dor de cabeça foi consideravelmente reduzida (58).

2.1.2 Anestesia Peridural

Anestésias peridurais podem ser aplicadas em toda a coluna vertebral, porém são mais facilmente efetuadas a partir dos espaços intervertebrais entre as vértebras lombares L3 e L5, onde o espaço peridural é maior (96). Para este tipo de anestesia, se faz necessário o uso de uma agulha de maior diâmetro do que a utilizada na anestesia raquidiana. A anestesia peridural ou epidural está entre as habilidades técnicas mais difíceis de obter durante o treinamento de anestesiologia (62). Ela é muito semelhante à anestesia raquidiana, mas com várias diferenças. Como:

1. Na anestesia peridural, o anestésico é injetado na região peridural, que fica ao redor do canal espinhal, e não propriamente dentro, como no caso da raquianestesia (96). O espaço epidural pode ser observado na Figura 9.
2. Na anestesia peridural, o anestésico é normalmente injetado por um cateter, que é implantado no espaço peridural. Enquanto na raquianestesia o anestésico é administrado por uma agulha uma única vez (96).
3. A anestesia peridural pode continuar a ser administrada no pós-operatório para controle da dor nas primeiras horas após a cirurgia, bastando manter a infusão de analgésicos pelo cateter.
4. A quantidade de anestésicos administrados na epidural é bem maior em relação à raquidiana.

A anestesia peridural é comumente usada durante o parto normal e em cirurgias ginecológicas pequenas (96). Assim como na anestesia raquidiana, o fator complicador mais comum na peridural é a dor de cabeça, ocasionada no caso de extravasamento de líquido pelo furo da agulha no canal espinhal. Essa perda de líquido provoca uma redução da pressão do líquido ao redor de todo o sistema nervoso central, sendo esta a causa da dor de cabeça. Dentre os possíveis riscos associados a esta técnica estão, além da dor de cabeça: calafrios e febre, infecção, danos nos nervos e paraplegia, pela perfuração da dura-máter (56).

2.2 Realidade Virtual

Os sentidos mais comuns são visão, olfato, paladar, audição e tato. Porém, também existem outros sentidos que afetam as percepções humanas do mundo, como por exemplo:

o senso de equilíbrio, o sentimento de forças, pesos e deslocamentos sentidos por nossos membros.

A Realidade Virtual (RV) está presente quando se usa a computação visual para criar um ambiente 3D simulado que possibilita interações dos usuários com este ambiente. Ela é uma aproximação da realidade experimentada pelos usuários através dos sentidos e sistemas de percepção. A percepção humana da realidade vem através dos nossos sentidos. Portanto, uma vez apresentando aos sentidos as informações esperadas, sendo estas reais ou não, a percepção da realidade irá se guiar por estes estímulos. A intenção na criação deste ambiente virtual tridimensional é a de simular uma realidade, apresentando os elementos desejáveis para os sentidos do usuário, visando cumprir um objetivo, através da interação de um ou mais usuários com este ambiente. Estes usuários se tornam parte deste ambiente virtual, total ou parcialmente, podendo manipular objetos ou executar um conjunto de ações (57).

A RV possui uma série de usos sociais como, por exemplo, o tratamento de fobias. Há trabalhos para aracnofobia (132), para aicnofobia ou medo de agulhas (74), para aerofobia ou medo de voar (100), para acrofobia ou medo de altura (99). Existem trabalhos que relacionam o seu uso para tratamento de ansiedade ou transtornos relacionados (80), para o tratamento de psicose (44).

A indústria do entretenimento através de filmes e jogos provocou uma grande evolução de técnicas de RV que, posteriormente, foram aplicadas em áreas mais “sérias” como o desenvolvimento pessoal e treinamento (113, 92, 67, 124). Na prática a RV deve ser considerada como uma possibilidade sempre que o que se deseja fazer é muito perigoso, caro ou impraticável de ser realizado concretamente. Por conta destas características, ela é muito usada nas áreas de treinamentos, da saúde e militar (110). Conforme a tecnologia que permite a criação e simulação de ambientes virtuais foi se tornando mais barata, mais aplicações foram e estão sendo criadas com o uso destas ferramentas.

2.3 Dispositivos Hápticos

O termo *haptics* é usado para descrever a ciência que estuda e simula a pressão, textura, vibração e outras sensações biológicas relacionadas ao toque. A sensação do toque se origina em estímulos mecânicos, elétricos, térmicos ou químicos na pele (24). O tato não está localizado numa região específica do corpo como os demais sentidos. Ele está distribuído por todo o corpo através do órgão sensorial do toque, na pele, articulações,

músculos e tendões.

O senso do toque se divide em duas sensações: cinética e tátil. Forças e torques são sensações cinéticas que são sentidas nos músculos, tendões e articulações. Já as sensações táteis como pressão, deformação e vibração são sentidas por mecanorreceptores que existem na pele (33).

Os primeiros dispositivos hápticos foram originados dos braços robóticos usados para o controle remoto de robôs (133). As aplicações de tecnologias hápticas são muito variadas envolvendo, por exemplo, projetos de engenharia e aplicações de manufatura (104), entretenimento (videogames e filmes), celulares, relógios inteligentes e até mesmo a indústria automobilística (108). Estes dispositivos possuem elementos mecânicos de entrada e saída para interação com o usuário. Uma ou mais partes do dispositivo em contato com o usuário são monitorados no espaço físico e o dispositivo oferece como retorno força e torque. Desta forma um canal bidirecional de interação entre o ambiente virtual e o usuário é criado (29).

Dispositivos hápticos estão sendo cada vez mais utilizados hoje em dia tanto pela evolução da sua tecnologia como pela diminuição dos preços. Estes dispositivos estão se tornando cada vez mais flexíveis representando mais fielmente os movimentos. Isto ocorre através do uso de conceitos de restrição parcial a movimentos, deslocamentos e da inclusão de mais possibilidades de deslocamentos e rotações livres, os chamados graus de liberdade, *degrees of freedom (DoF)* (26).

O número de graus de liberdade de um dispositivo háptico se refere ao número de maneiras diferentes em que este pode se mover ou criar forças de reação a esses movimentos de modo a restringi-los. Como exemplo, dispositivos com 3 graus de liberdade ao movimento podem rastrear posições e criar forças ao serem movidos nas direções: direita-esquerda, frente-trás e cima-baixo (51). O principal objetivo no uso destes dispositivos é o aumento da sensação de imersão em um ambiente de realidade virtual.

Em relação à área médica, os dispositivos hápticos vem sendo utilizados na maioria dos trabalhos de simulação de procedimentos médicos (39, 83). Eles são usados para simular o uso de ferramentas em cirurgias e ajudaram a impulsionar o sucesso das práticas em simuladores virtuais. Isto aconteceu ao proporcionar o controle dos graus de liberdade de deslocamentos, a restrição aos movimentos e as respostas às atitudes do usuário como forças de reação ou *feedback* (47). Estes dispositivos eletromecânicos existem nas mais diversas formas e são adaptados para uma grande variedade de procedimentos médicos como, por exemplo, no treinamento de laparoscopia (115), biopsia de próstata (102),

cirurgia de fígado (72), exames de mama (19, 60, 97, 112), simulação de palpação (98) e punções epidurais (35, 20). Alguns sistemas usam mais de um háptico como em punções de agulha guiadas por ultrassom que usam um equipamento para simular a agulha e outro para o ultrassom (88, 123). Outros chegam a fazer o uso de três dispositivos como o PalpSim de forma a simular o toque das mãos do usuário num paciente virtual (28).

Culbertson; Schorr; Okamura (33) identificaram como 3 as principais categorias de sistemas hápticos: compreensíveis, vestíveis e palpáveis. Um exemplo destes tipos pode ser visto na Figura 10. Os sistemas compreensíveis são dispositivos tipicamente cinéticos (*feedback* de força) que normalmente possuem uma base fixa e permitem ao usuário empurrar e ser empurrado de volta. Sistemas vestíveis são tipicamente táteis montados nas mãos ou em outras partes do corpo e provocam sensações diretamente na pele. Os sistemas palpáveis são dispositivos de encontro que permitem ao usuário explorar toda a superfície (33).

Os dispositivos a serem explorados aqui são os de sistemas compreensíveis. Estes foram os tipos de hápticos utilizados nos simuladores computacionais relacionados ao tema desta tese estudados e citados na Seção 3.2. Ribeiro et al. (98) fizeram uma revisão sobre dispositivos usados na simulação de procedimentos que envolvem o toque da mão do médico para identificação de características e anormalidades sob a pele. Os autores analisaram 57 trabalhos e mais da metade fez uso dos dispositivos da família *Phantom*. Os dispositivos desta família serão listados a seguir nesta Seção.

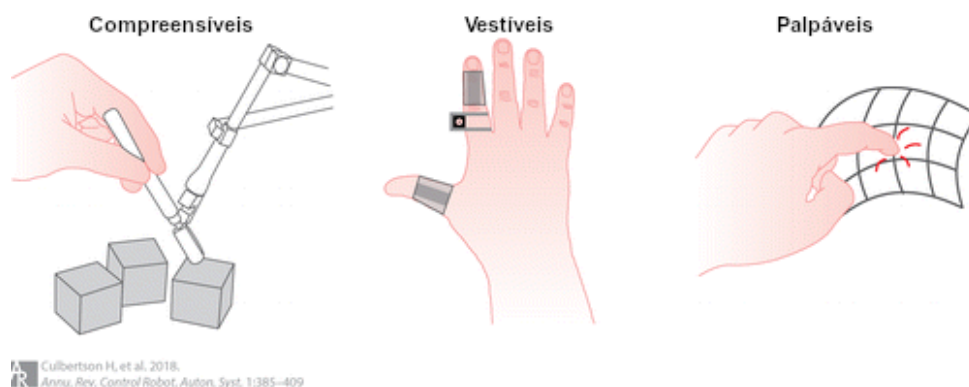


Figura 10: Tipos de sistemas háptico (33).

Nas figuras 11, 12, 13 e 14, os dispositivos aparecem representados ordenados pelas suas complexidades i.e. dos mais simples (mais antigos e com menos recursos) aos mais avançados (mais novos). Todos estes dispositivos são exemplos de sistemas tipicamente cinéticos. Os mais novos possibilitam maior número de graus de liberdade para os movimentos assim como possibilitam mais forças e momentos de reação.

O Novint Falcon [®] (Figura 11), lançado em 2007, tem como interface com o usuário uma esfera onde o usuário deve colocar os dedos da mão para fazer os movimentos no caso do seu uso mais comum. No que diz respeito à liberdade de movimento, este mecanismo proporciona uma interação 3D com o computador no lugar da interação 2D proporcionada pelo mouse. Ele possui 3 graus de liberdade de movimento e, conseqüentemente, forças reativas. Nesta esfera existem quatro botões para interação e existem sensores para determinar a posição do cursor e motores para controlar as forças a serem transmitidas para o usuário. Existem versões onde a esfera é substituída, por exemplo, por um dispositivo semelhante a uma pistola para que o dispositivo seja usado em jogos de tiros de primeira pessoa (111).



Figura 11: Dispositivo háptico Novint Falcon [®] (51) .



Figura 12: Dispositivo háptico Geomagic Touch [®] / Phantom Omni [®] (1).

Os hápticos da família *Phantom Geomagic Touch* [®] (Figura 12) e *Geomagic Touch X* [®] (Figura 13) apresentam uma peça que simula uma caneta para manipulação do usuário da mesma forma que a esfera no dispositivo da Figura 11. Nas canetas também existem botões para interação e, da mesma forma, estas também são substituíveis por partes com formas mais adequadas ao procedimento que estas pretendem simular. O dispositivo



Figura 13: Dispositivo háptico Geomagic Touch X ® / Phantom Desktop ® (1).



Figura 14: Dispositivo háptico Phantom Premium ® (1).

Geomagic Touch X ® possui a mesma liberdade de movimento do *Geomagic Touch* ®, porém possibilita *feedback* de forças maiores. Ambos apresentam 6 graus de liberdade de movimento (translação em 3 eixos e rotações nestes) com retorno de forças somente para os movimentos de translação. Estes dispositivos, portanto, mapeiam a posição 3D e orientação, mas somente apresentam *feedback* de forças direcionais (42). A Figura 15 detalha visualmente os graus de liberdade de movimento do háptico Touch ® (usado nesta tese), numerando de 1 a 6 os movimentos de translação e rotação disponíveis. A numeração de 1 a 3 se refere a movimentos de translação, respectivamente, nos eixos X, Y e Z. A numeração de 4 a 6 representa os movimentos de rotação.

O *Phantom Premium* ® (Figura 14) está disponível nas versões *Premium 1.0*, *Premium 1.5* e *1.5/HF*, e *Premium 3.0*. Essas versões apresentam variações não só no *feedback* de forças como também nos graus de liberdade dos movimentos. Enquanto o *Phantom*

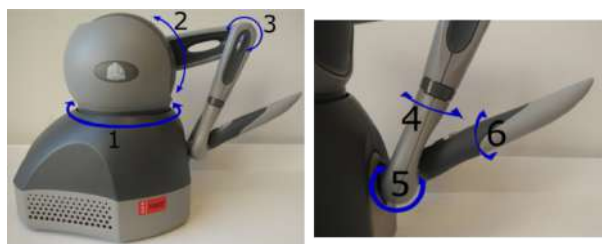


Figura 15: Ilustração dos graus de liberdade de movimento do háptico Touch (R).

Premium 1.0 (R) simula o movimento do giro do pulso na mão o *Phantom Premium 3.0* (R) possibilita uma amplitude que simula os graus de liberdade de movimento de todo o braço humano desde o ombro (1). Este dispositivo possui 6 graus de liberdade tanto para movimento como também para rotações com as reações correspondentes de forças e momentos, o que o torna simétrico no número de sensores e motores (atuadores). São computadas forças e torques tanto da posição como da orientação deste dispositivo. Esta característica tem uma forte influência no custo associado a este tipo de dispositivo (42).

2.4 Modelagem de tecidos

Um dos passos necessários para construção de um ambiente virtual para treinamento de raquianestesia é a criação de pacientes virtuais. Um aspecto importante da modelagem destes pacientes é como eles aparecem na tela da aplicação. Outro aspecto importante na simulação é ter uma estimativa da espessura dos tecidos envolvidos nestes tipos de anestesia. Para isto, é necessária a modelagem da espessura de todas as camadas de tecido pelos quais as agulhas passam para execução destes procedimentos. Uma ilustração destes tecidos, que vão desde a pele até o espaço subaracnóide (onde deve ser aplicada a anestesia) pode ser vista na Figura 9. Nesta Seção são descritos trabalhos relacionados com a modelagem da distância entre a pele e a dura-máter que é a camada imediatamente anterior ao espaço subaracnóide.

Na Tabela 1 são listadas as variáveis de entrada e saída dos métodos estudados nesta Seção. Esta tabela exhibe também as unidades destas variáveis que serão utilizadas em todo este trabalho.

Muitos trabalhos buscam relacionar a Distância da pele até o espaço epidural (DEE) com as demais variáveis da Tabela 1. A grande maioria dos trabalhos estudados indica uma forte relação da DEE com o IMC. Adegboye; Bolaju; Ibraheem (3) e Galbraith; Wallace; Devitt (45) não fazem separação dos grupos populacionais por idade, sexo ou

Tabela 1: Variáveis e unidades de medida utilizadas no texto.

Variável (sigla) - fórmula	Unidade	Unidade abreviada
Massa (M)	quilogramas	kg
Altura (A)	metros	m
Idade (I)	anos	-
Índice de Massa Corporal (IMC) - M/A^2	<i>quilogramas/metros²</i>	<i>kg/m²</i>
Distância da pele até o espaço epidural (DEE)	centímetros	cm

etnia, e usaram populações respectivamente de $n=120$ e $n=317$ pessoas entre homens e mulheres.

Os trabalhos citados a seguir analisaram somente ou de forma separada grupos de mulheres grávidas. Como este é o foco deste trabalho só serão comentadas aqui as conclusões referentes a estes grupos. Todos os trabalhos a seguir encontraram influência do IMC na determinação da DEE, mas, além desta relação, também foram encontradas outras combinações em cada trabalho. O grupo étnico/populacional do indivíduo foi observado em conjunto com o IMC em Sharma et al. (105) estudo feito no Reino Unido (RU). A idade foi observada em conjunto com o IMC num estudo em pacientes americanas em Michigan, EUA (27). A altura, massa, idade e IMC foram observados como relevantes em um estudo em pacientes da Índia (52). Estes dois últimos trabalhos construíram equações de regressão linear para determinação da DEE para grupos de parturientes conforme pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2: Equações para estimativa da DEE em grávidas.

Trabalho	Equação	Local da amostra
(27)	$DEE = 3 + 0,11 \text{ IMC} - 0,01 \text{ I}$	EUA
(52)	$DEE = 4,748 + 0,209 \text{ IMC} + 4,703 \text{ A} - 0,054 \text{ M}$	Índia

Os autores em (105) no lugar das equações apresentaram como resultado uma tabela com cinco pontos de cada par IMC x DEE para cada grupo populacional analisado. Estes dados podem ser vistos na Tabela 3. A definição dos grupos populacionais no estudo do RU em (105) foi: Brancas (população do Reino Unido, da Irlanda e qualquer outro grupo com cor de pele branca); Asiáticas ou Britânicas Asiáticas (população da Índia, Paquistão, Bangladesh ou qualquer outro grupo Asiático); Negras ou Britânicas negras (população de Africanas, Caribenhas ou outros grupos com cor da pele negra); e Chinesas e outros

grupos étnicos (população da China, Japão, Malásia, Filipinas etc.). No grupo de nome Chinesas, além dos dados de pessoas desta origem moradoras do RU, foram considerados dados de Chinesas (n=70) de um hospital de Singapura.

Tabela 3: DEE estimados para os grupos populacionais de (105).

IMC (kg/m ²)	DEE estimada (cm)			
	Brancas	Asiáticas/Britânicas Asiáticas	Negras/Britânicas Negras	Chinesas
20	4,7	4,5	5,0	4,4
25	5,3	5,1	5,7	4,7
30	6,0	5,7	6,5	5,1
35	6,6	6,2	7,2	5,4
40	7,2	6,8	8,0	5,7

Na Tabela 4 é apresentado o tamanho da população utilizada nestes estudos e as identificações da origem dos dados do estudo, isto é, os grupos populacionais analisados.

Tabela 4: Descrição das populações por estudos.

Trabalho	Grupo populacional – origem dos dados	Tamanho da população (n)
(27)	EUA	2009
(105)	Brancas – RU	708
(105)	Asiáticas/Britânicas Asiáticas – RU	249
(105)	Negras/Britânicas negras – RU	127
(105)	Chinesas e outros grupos étnicos – RU e Cingapura	126
(52)	Índia	100

A listagem dos tecidos entre a pele e a DEE e a relação dessa distância com o aumento de peso é comentada em Palmer et al. (91). Os autores concluem que com o aumento da massa (do paciente) o tecido que sofre a maior variação é a gordura subcutânea.

Esta tese propõe uma equação mais abrangente para determinar a DEE de parturientes, levando em consideração os dados dos estudos locais comentados nesta Seção. Isto por que este dado é uma informação essencial para permitir a criação de pacientes virtuais em um simulador de anestesia raquidiana para fins de treinamento. A proposta da criação desta equação mais geral está descrita na Seção 4.1.1 onde os trabalhos comentados aqui (27, 105, 52) são utilizados para uma nova modelagem de tecidos de pacientes grávidas.

Este capítulo apresentou uma fundamentação teórica sobre anestesia raquidiana e aspectos necessários para construção de um simulador deste tipo de anestesia que envolvem

realidade virtual, dispositivos hápticos e modelagem de tecidos que são as principais entidades relacionadas com esta tese. O próximo capítulo oferece uma visão das pesquisas relacionadas ao tema desta tese e compara-as com os objetivos que foram descritos na Seção 1.2 deste trabalho. Essas pesquisas tratam de simuladores puramente computacionais como o proposto neste trabalho assim como de simuladores que fazem uso de *phantoms* para demonstrar prós e contras de cada abordagem.

3 Trabalhos Relacionados

Os trabalhos apresentados neste capítulo vão desde abordagens de simulação de procedimentos de anestesia regional usando *phantoms* a simuladores computacionais. É interessante destacar que alguns simuladores computacionais são híbridos no sentido de que usam *phantoms* como parte do processo de simulação. Ao final, um comparativo descrevendo a nossa solução frente aos principais benefícios de cada abordagem estudada foi apresentado.

Vaughan et al. (122) citam trinta e um simuladores (entre computacionais e com uso de *phantoms*). Destes, dezesseis são apenas epidurais, nove que permitem tanto a punção epidural quanto a raquidiana e seis apenas raquidianos. São discutidas as limitações e vantagens de cada um, de forma a identificar características desejáveis para serem incluídas em um simulador.

No trabalho de Isaacs et al. (59) os autores citam uma pesquisa onde também são elencadas diversas características interessantes para um simulador epidural. Dentre os itens com mais relevância citados por Isaacs et al. (59) estão: coluna fisicamente palpável, representação da técnica de perda de resistência (do inglês *Lost of Resistance*, LoR) de forma realista (para solução salina e ar), ajuste da posição da paciente, mapeamento de características do paciente (obesidade, gravidez), *feedback* a respeito da correta execução.

A principal vantagem dos modelos com uso de *phantoms* é a presença física do manequim que representa a paciente. Uma das principais desvantagens é a dificuldade na variabilidade de cenários (pacientes) distintos. Outra desvantagem é a dificuldade na representação da diferença existente entre a resistência dos tecidos biológicos e os tecidos nos quais os modelos físicos são constituídos (usualmente borracha e plástico).

Os dispositivos hápticos têm evoluído muito ao longo dos últimos anos. Os modelos computacionais com hápticos têm como pontos a favor a versatilidade. As possibilidades computacionais da tecnologia háptica e as visualizações 3D de tempo real são outros pontos positivos associados a esta tecnologia. Soluções computacionais podem criar um

modelo de forças de inserção da agulha. Para este fim pode-se usar como base as medições das forças aplicadas para inserção de agulhas em animais considerados próximos dos humanos, assim como em cadáveres e até mesmo voluntários reais (54, 55, 65, 75, 86, 117, 121). Estes modelos podem contemplar uma grande variabilidade de cenários através de ajustes de parâmetros.

A seguir serão apresentados os simuladores de punções mais completos. Primeiro, os que somente fazem uso de *phantoms*, em seguida os que usam de ferramentas computacionais.

3.1 Simuladores que só usam *phantoms*

Os simuladores baseados em *phantoms* (ou manequins) mais completos são discutidos aqui com suas principais características. As características positivas devem idealmente ser contempladas ou até melhoradas em novos simuladores. Todas as soluções listadas estão disponíveis atualmente. Elas permitem ao menos a simulação da anestesia peridural, possuem a coluna fisicamente palpável e permitem a escolha do ponto e ângulo de inserção da agulha. Todos esses trabalhos permitem que o procedimento seja feito com o paciente sentado ou deitado e o escoamento do fluido cérebro espinhal é simulado ao perfurar a dura-máter. É possível escolher o ponto de inserção em todos estes simuladores.

A solução *SimULab Lumbar Epidural Trainer* possui até 4 variações de pacientes (normal, idoso e obeso e obeso idoso). A Figura 16 ilustra o uso deste simulador. O material deste manequim foi produzido de forma a permitir o uso deste equipamento (107). Este simulador permite somente a anestesia epidural e foi incluído aqui por que esta anestesia possui algumas similaridades com as anestésias raquidianas.

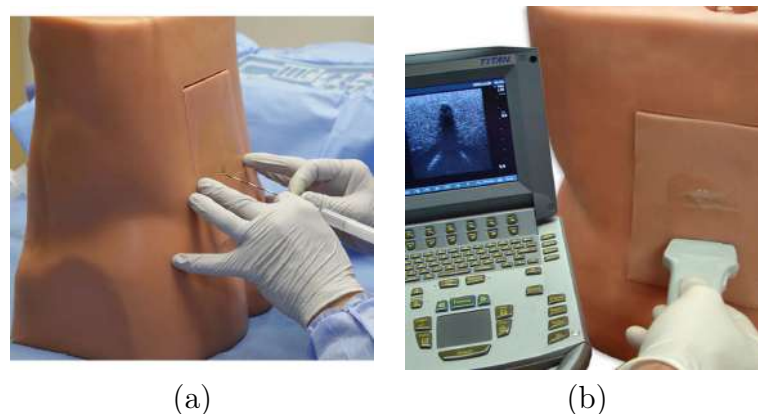


Figura 16: Demonstração de uso do simulador *SimULab Lumbar Epidural Trainer* (107): (a) Inserção da agulha (b) Exame de ultrassom.

O simulador *Nasco Life/form® Spinal Injection Sim* permite treinamentos nos dois tipos principais das anestésias regionais. As vértebras L1 e L2 ficam visíveis externas ao corpo simulado pelo manequim como pode ser visto na Figura 17. Ele somente permite a punção entre as vértebras L3 até L5 (87).



Figura 17: Demonstração de uso do simulador *Nasco Life/form® Spinal Injection Sim* (87).

O *Blue Phantom Lumbar Puncture and Spinal Epidural* (Figura 18) também foi produzido em material que possibilita o uso do ultrassom. Este simulador possui somente duas opções de variação de pacientes (normal e obeso) e possibilita tanto anestésias epidurais como raquidianas (16).

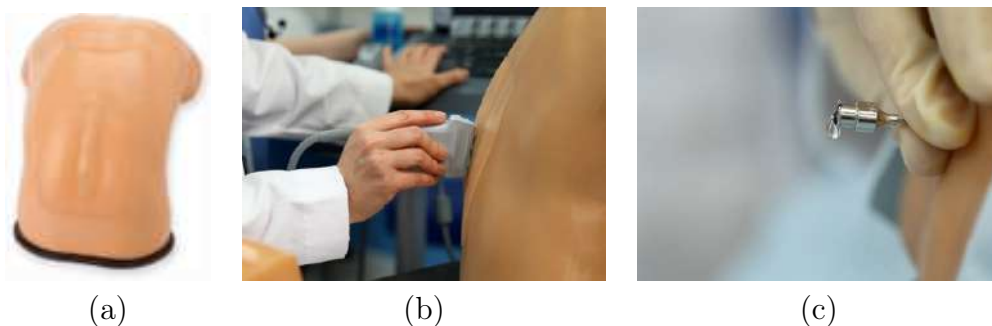


Figura 18: Blue Phantom Lumbar Puncture and Spinal Epidural (16): (a) Manequim (b) Uso do ultrassom (c) Escorrimento do líquido do manequim.

S411 Lumbar Puncture Trainer é outro simulador de anestésias regionais que pode ser observado na Figura 19. Possui parte substituível vendida em separado que dura, segundo o fabricante, entre 15 e 25 usos dependendo da espessura da agulha usada nas simulações. As vértebras representadas vão da L2 até a L5 mas possibilita a punção entre a L4 e L5

ou L3 e L4. Só permite a inserção da agulha entre vértebras. Só apresenta variações de cor do manequim não representando diferentes classes de pacientes (46). Um exemplo de vídeo mostrando seu uso pode ser visto no link¹.



Figura 19: Demonstração do simulador S411 Lumbar Puncture Trainer (46): (a) Kit (b) Inserção da agulha.

Outro simulador que também possibilita anestésias epidurais e raquidianas é o M43E *Ultrasound Compatible Lumbar Puncture/Epidural Simulator*. Ele possui 4 variações de pacientes (normal, obeso, idoso e idoso obeso) e possibilita o uso ultrassom como demonstrado na Figura 20 . Uma limitação deste é somente apresentar as vértebras L2 até L5 (64) mas como foi visto anteriormente, na Seção 2.1.1, estas são as vértebras mais comuns para anestesia raquidiana.



Figura 20: M43E *Ultrasound Compatible Lumbar Puncture/Epidural Simulator* (64).

Mashari et al. (71) desenvolveu um manequim de baixo custo impresso em impressora 3D com material que permite o uso de ultrassom. Ele foi comparado com o modelo de paciente normal do simulador comercial *SimULab Lumbar Epidural Trainer* num teste que envolveu 21 anestesiistas. As respostas dos participantes demonstraram resultados similares em relação a representatividade de cada sensação. A solução de baixo custo teve

¹https://youtu.be/077_UWo0JSc

avaliações mais baixas somente no teste da palpação. O modelo impresso foi criado a partir de imagens de TC segmentadas e posteriormente modeladas pelos autores. Este modelo carece de variabilidade, pois simula apenas um modelo de corpo para cada manequim impresso. Esta variabilidade pode ser obtida com um trabalho de obtenção, segmentação e modelagem de diversas imagens médicas referentes a pacientes com características físicas distintas.

A Tabela 5 resume uma série de características importantes destes simuladores. Durante as pesquisas foram encontrados outros simuladores que não foram descritos aqui por possuírem características muito similares ou serem menos abrangentes dos mencionados aqui.

Tabela 5: Comparação dos simuladores baseados em *phantoms*.

Nome do simulador	Ano de desenvolvimento	Epidural (E) Raquianestesia (R)	Testado por especialistas	Permite o uso de ultrassom	Quantidade de pacientes	Coluna palpável	Escolha do ponto de inserção da agulha	Abordagens mediana (M) e paramediana (P)
SimULab Lumbar Epidural Trainer	2008	ER	N	S	4	S	S	MP
Nasco Life/form® Spinal Injection Sim	2008	ER	N	N	3	S	S	MP
Blue Phantom Lumbar Puncture and Spinal Epidural	2011	ER	N	S	2	S	S	MP
S411 Lumbar Puncture Trainer	2011	ER	N	N	1	S	S	M
M43E Ultrasound Compatible Lumbar Puncture/Epidural Simulator	2015	ER	S	S	4	S	S	MP
Manequim de baixo custo de Mashari	2018	ER	S	S	4	S	S	MP

3.2 Simuladores computacionais

Esta Seção comenta os simuladores computacionais que possuem as características mais relevantes ao desenvolvimento das respostas conduzidas por computador à manipulação dos hápticos.

O primeiro simulador epidural computacional, Epidural Sim (116) apresentou uma série de características interessantes. A representação do corpo do paciente em 3D teve as alterações das características de seus elementos obtidas através de exames de Ressonância Magnética (RM). Permite o uso de uma agulha real ligada a um dispositivo háptico. O modelo de forças foi baseado em medidas feitas durante inserções epidurais em porcos e cães combinados com opiniões de especialistas. Este simulador permite ainda a escolha do ponto de inserção da agulha assim como o seu ângulo. É disponibilizada uma interface de voz, o que possibilitava ser iniciado por comandos de voz do usuário assim como receber *feedbacks* gerados pelo computador. A palpação da coluna não está disponível neste simulador. Chegou a ser testado por anestesistas que o consideraram muito mecânico, porém com potencial de melhora a partir de ajustes. Uma imagem do uso deste simulador pode ser vista na Figura 21.



Figura 21: Epidural Sim em uso (116).

O único simulador computacional de punção lombar estudado que possibilita a palpação da coluna é o *Epidural Injection Simulator, EIS* (129). Esta característica é atendida através de um equipamento físico que fica conectado a uma unidade de controle. O simulador possui uma interface gráfica que mostra, em tempo real, a progressão da agulha em cada camada de tecido conforme ela é inserida. Existem 6 variações de pacientes e um *feedback* de forças configurável. O dispositivo háptico usado neste trabalho foi desenvolvido para este simulador, não sendo uma solução pronta de mercado. Não é permitida a escolha do ponto de inserção da agulha nem o seu ângulo de inserção, que são fixos. Uma nova versão deste simulador foi desenvolvida com o nome de *Epidural Injection Simulator Profile Manager*. Essa, além das funcionalidades do seu antecessor, possibilita a criação de cenários customizados de pacientes além das 6 opções pré-configuradas. Estas

customizações podem, inclusive, ser salvas para uso posterior. O *feedback* em tempo real nesta nova versão pode ser visualizado no monitor do computador na forma de gráficos (32). A Figura 22 exibe o visual do *Epidural Injection Simulator Profile Manager* e do seu antecessor EIS que foi descontinuado com o lançamento da nova versão.

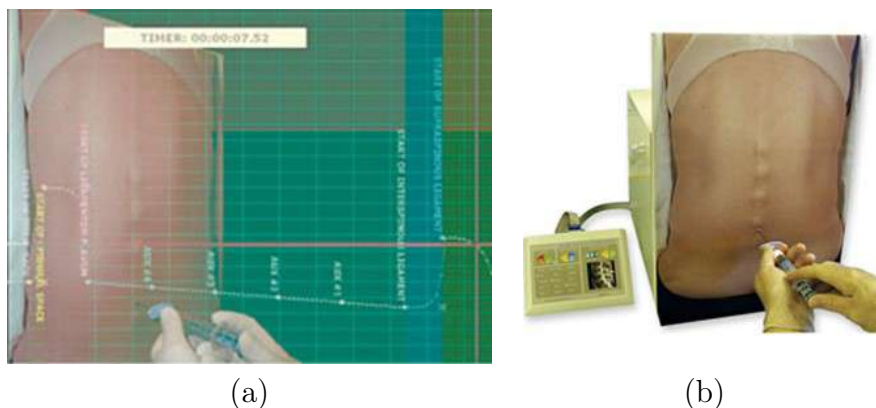


Figura 22: Imagens de exemplo das duas versões do *Epidural Injection Simulator*: (a) Versão mais nova: *Profile Manager* (b) Versão antiga: EIS (descontinuado) (32).

Em 2006, foi lançado o *Mediseus® epidural simulator* (MedicVision Pty Ltd, Melbourne, Austrália). Este simulador, apesar de ter sido descontinuado, apresentava algumas características interessantes como a exibição completa do corpo, permitindo rotações e zoom (73). A pele pode ser tornada transparente, tornando visíveis as cinco vértebras modeladas. Este simulador usa um *Phantom Omni* dentro de uma caixa patenteada (22) para o *feedback* das forças na agulha, incluindo a medida da pressão de ar na seringa. A agulha é movimentada na tela em tempo real assim que o dispositivo é utilizado pelo profissional em treinamento. O dispositivo pode ser conectado em qualquer laptop. Em uma avaliação feita sobre este simulador de 2007 (37) ele não teve um bom retorno por parte dos anestesiologistas. O item com pior avaliação foi a sensação de LOR que somente 54% dos especialistas julgaram como realista. Em um estudo posterior (66) essa técnica foi avaliada com nota 4,7 de um valor máximo de 5 o que supõe uma representação próxima da sensação real esperada. Já a simulação dos ossos nessa mesma avaliação recebeu nota 2,3, enquanto a do ligamento amarelo foi avaliada com nota 3,5. Na avaliação feita por Lee et al. (66) a nota 1 indicava uma representação muito pobre ou sem utilidade enquanto a nota 5 indicava algo excelente ou muito útil. Uma imagem deste simulador pode ser vista na Figura 23.

O *Spinal Anaesthesia Simulator* (8, 34), faz o uso de um dispositivo háptico *Phantom Premium 1.0* em conjunto com óculos 3D (Figura 24). Permite tanto a simulação da anestesia peridural como a raquidiana. O modelo das costas é feito a partir de uma



Figura 23: Aparelho e visual do *Mediseus® epidural simulator* (73).

combinação de imagens de Tomografia Computadorizada (TC) e de RM. Existem vários níveis de dificuldade configuráveis, além de ser possível alterar o nível de visibilidade da pele. É feita uma análise do usuário proporcionando um *feedback* a ele do seu nível de aprendizado e as habilidades adquiridas nos vários níveis de dificuldade disponíveis.



Figura 24: Forma de uso do *Spinal Anaesthesia Simulator* (34).

O EpiSim (130) foi desenvolvido em 2008. Ele faz uso do háptico *Phantom Omni* além de um manequim e agulha epidural com uma seringa para recriar a sensação de perda de resistência. Só possui duas vértebras e um ponto fixo de inserção da agulha. A espessura de cada camada de tecido é configurável a partir da interface, podendo estas configurações serem salvas para uso futuro. É dado um *feedback* visual a partir de cores, onde a cor verde indica o tecido atual e a vermelha indica possíveis toques no osso. Um som de aviso é ouvido no caso de perfuração da dura-máter. É possível efetuar a gravação da inserção de uma agulha, inclusive com as forças empregadas para posterior exibição como outro tipo de *feedback*. Esta etapa permite que um procedimento feito por especialistas

seja visualizado em detalhes por profissionais inexperientes. A Figura 25 ilustra este simulador.



Figura 25: Imagem do simulador *EpiSim* (43).

Um simulador de punção lombar criado por Farber et al. (40) possui, além do dispositivo háptico *Phantom Premium* 1.0, gráficos anatômicos e tela estereográfica. Os movimentos de rotação e em direção não perpendicular ao corpo do paciente são restritos quando a agulha está dentro do corpo (40, 41). Uma abordagem de processamento de volume háptico descrita por Lundin; Gudmundsson; Ynnerman (69) foi adaptada para mapear as tomografias em forças. O paciente virtual 3D é construído a partir de dados de tomografia de pacientes reais e de dados do projeto *Visible Human*. É importante ressaltar aqui que as imagens de tomografias não podem ser feitas com paciente com a coluna fletida, que é a posição necessária para ser efetuada a raquianestesia (seja sentada ou deitada). As visualizações incluem uma anatomia 3D e 3 visualizações 2D mostrando os cortes ortogonais (transversal, frontal e sagital). É possível usar uma visão sob a perspectiva da agulha virtual. A Figura 26 ilustra as opções de visualizações citadas. A visão da agulha aparece na parte superior esquerda. A visão pode ser rotacionada e amplificada por meio de zoom. A interface proporciona uma boa sensação e visão de profundidade no corpo virtual através da visão estéreo. Possibilita a variação entre 3 opções de pacientes virtuais. Possui uma análise do percurso da agulha, comparando esta com um caminho ótimo definido por especialistas e apresenta como *feedback* ao usuário. Dá também retorno de perfuração de estruturas de risco bem como avalia o tempo de punção, resultando numa nota geral de 0 a 100 calculada para comparar o sucesso dentre os usuários. Por fim, é exibida para o usuário uma janela de *feedback* onde é informado o desempenho e são apresentadas dicas de como melhorar a performance. Pelas diversas tecnologias envolvidas, este simulador tem um custo consideravelmente maior que os demais. Na Figura 27 é possível visualizar os dispositivos envolvidos no uso do simulador. Testes num estudo piloto demonstraram que os médicos treinados neste simulador se saíram melhor do que

os que não tiveram acesso a ele (41).

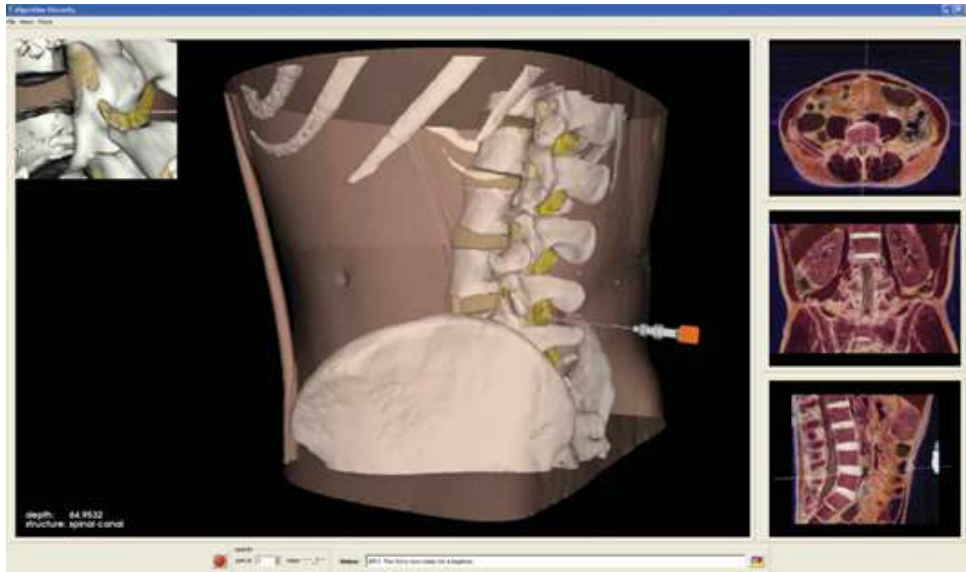


Figura 26: Interface do simulador de punção lombar de Farber et al. (41) com opções de visualização 2D e 3D disponíveis.



Figura 27: Uso do simulador demonstrando os dispositivos utilizados (41).

Dubey et al. (35) criou e descreveu um simulador epidural que fez uso do háptico Novint Falcon e conectou uma seringa ao computador possibilitando a simulação da técnica de LoR. A Figura 28 ilustra uma tela de exemplo deste simulador que permite a variação de corpos via entrada de parâmetros. Possui simulação da palpação para determinação do ponto de inserção da agulha e permite as duas abordagens de inserção da agulha. Cada vértebra desde a T2 até a L5 foi mapeada individualmente. O mapeamento das forças necessárias para perfuração e passagem da agulha pelas camadas foi feito através da medição das forças necessárias para execução destas atividades em cadáveres de porcos. Este simulador permite ainda a aplicação de transparência às camadas, o uso de rotação e zoom para melhor visualização de diferentes aspectos do corpo. Os autores não comentaram

sobre *feedback* para o usuário a respeito do seu desempenho somente do *feedback* de forças na execução do procedimento.



Figura 28: Exemplo de uso do simulador epidural de Dubey (35).

O *Epidural Haptic Game Simulator*, EHGS (19), utilizou um dispositivo háptico Phantom Omni e fez uso de elementos de jogos para trazer mais motivação para os usuários. Dentre os elementos de jogos estão presentes a divisão de etapas e atribuição de pontuação dada como *feedback* para o usuário pela execução correta das tarefas envolvidas no procedimento de punção epidural. A simulação da técnica de LOR foi feita através da exibição de valores na tela ao clicar sobre um botão do háptico, simulando o pressionamento do êmbolo da seringa. É possível escolher o ponto e ângulo de inserção da agulha. Não existe a opção de palpação da coluna para descoberta do local correto para efetuação da punção. Foi implementado um modelo de cálculo da espessura dos tecidos conforme peso, altura e idade do paciente de acordo com estudos em parturientes. A modelagem de forças de rigidez, atrito e corte necessárias para inserção e progresso da agulha nos tecidos foi desenvolvida com base em estudos destas forças para inserção de agulhas em tecidos de porcos e humanos. A ferramenta também disponibiliza uma forma manual de alteração destes parâmetros permitindo assim uma customização destas forças segundo as sensações do especialista. A Figura 29 mostra a interface do simulador EHGS em detalhes com o retorno de pontos obtidos, o tecido sendo perfurado no momento, a profundidade da ponta da agulha, as forças medidas e ângulo da agulha. É possível inserir a agulha na abordagem mediana e na paramediana, porém, pela simplificação da modelagem das camadas, a agulha inserida na abordagem paramediana, necessariamente, irá perfurar as mesmas camadas da abordagem mediana o que não é o correto.

No simulador epidural desenvolvido por Senac et al. (103) o objetivo principal foi a representação fiel das sensações durante a inserção da agulha incluindo a LoR em detrimento da parte visual (o que pode ser observado na Figura 30). O ponto de entrada da agulha, assim como as abordagens de inserção desta, estavam, portanto, fora do escopo



Figura 29: Interface do simulador EHGS (19).

deste simulador. Ele foi testado por oito anestesiologistas (dois experientes e seis novatos). O foco foi na avaliação do nível de habilidade do usuário através da gravação do seu uso do simulador. Três tipos de pacientes foram criados neste simulador (normal, obeso e calcificado). As dimensões dos pacientes foram configuradas a partir de imagens de RM e as forças a partir do trabalho de Tran et al. (117).

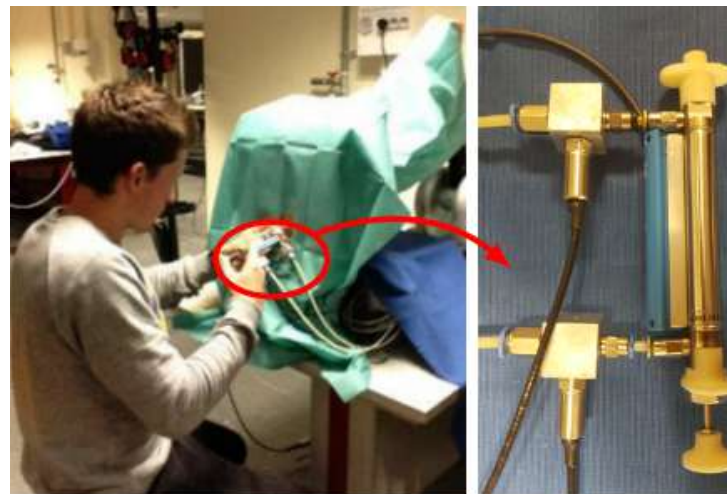


Figura 30: Interface do simulador Epidural de Senac (103).

USEIT é o acrônimo em inglês do simulador epidural baseado em *Unity* para treinamento desenvolvido por Moo-Young et al. (83). Os autores fizeram uso do dispositivo háptico *Novint Falcon* com uma customização para conexão da agulha epidural. Também desenvolveram uma customização adicional onde usaram Arduino e uma válvula manual de forma a simular o efeito de LoR através da seringa. Estas duas customizações podem ser observadas na Figura 31 que ilustra um usuário efetuando um procedimento no simulador. Apesar das customizações aumentarem o realismo na execução do procedimento, a existência delas impediu a inclusão da palpação neste simulador. Os autores comentaram

que para possibilitar a palpação seria necessário aumentar a complexidade de montagem do sistema por parte dos usuários. O ambiente virtual remete a uma sala de operação, como pode ser visto na Figura 32. Nesta figura, também fica claro que a aplicação de transparência nas camadas é possível neste simulador. O intestino delgado e os rins estão presentes no modelo 3D do paciente o que é um diferencial deste em relação aos demais simuladores porém os autores não comentam a possibilidade de variação de espessuras dos tecidos no modelo 3D do paciente. Como esta variabilidade não foi informada, foi assumido que o modelo é fixo e não adaptável. Como *feedback* são apresentadas métricas de avaliação do desempenho após a simulação.

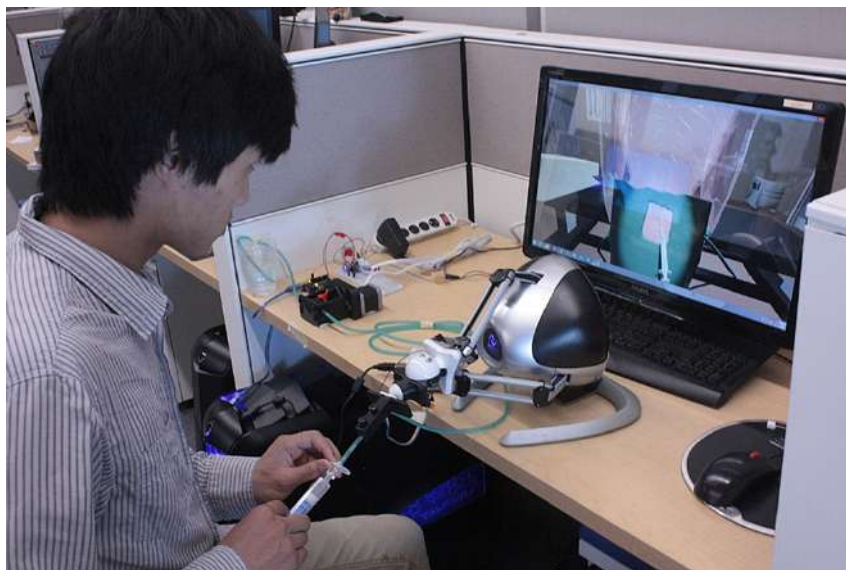


Figura 31: Visão geral do uso do USEIT com as customizações visíveis (83).

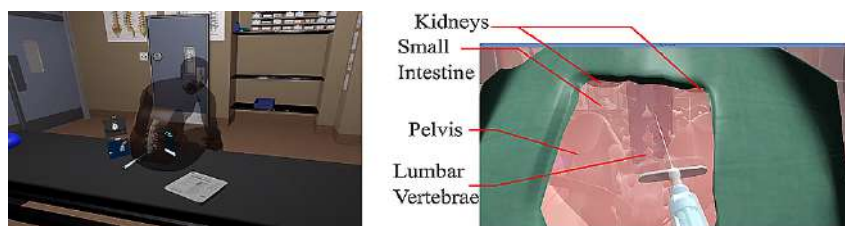


Figura 32: Ambiente virtual do USEIT (83).

Um resumo das características importantes nos simuladores de anestésias regionais computacionais pode ser vista na Tabela 6.

3.3 Comparação entre os simuladores estudados e o proposto nesta tese

Enquanto os simuladores baseados em *phantom* mais generalistas possibilitam 4 variações de pacientes, alguns dos simuladores computacionais mais completos possibilitam infinitas representações de pacientes através de ajustes de parâmetros (116, 129, 35, 19). No simulador desenvolvido aqui também é possível configurar infinitas representações de pacientes como nestes simuladores. Isto é viabilizado pela adaptação do modelo 3D dinâmico que aumenta a espessura das camadas do corpo de acordo com os dados de IMC passados como parâmetro ao sistema.

Em contrapartida apenas dois dos simuladores computacionais desenvolvidos trataram a palpação física da coluna (129, 35). Esta é uma característica desejável e importante na raquianestesia que está presente em todos os simuladores baseados em *phantoms*. O ambiente de treinamento desenvolvido nesta tese se aproxima da abordagem do simulador Epidural de Dubey (35), no que diz respeito a esta característica, uma vez que apresenta, através de interação com o dispositivo háptico, a possibilidade de palpação da coluna, porém, sem a necessidade do item físico usado por Wilson et al. (129). Tudo é feito através do uso do dispositivo háptico conectado e da RV. Desta forma, a limitação de escolha do ponto de inserção da agulha e sua angulação presente em *Epidural Injection Simulator, EIS* (129) não existe no simulador aqui proposto e esta é outra característica muito importante presente na maioria dos modelos baseados em *phantoms*. Este fator já está incorporado também nos principais simuladores computacionais.

Um ponto positivo importante nos simuladores computacionais é quando a representação do *feedback* de forças na interação com os tecidos dos pacientes é baseada em dados medidos. Estes, em alguns casos, se baseiam em medições feitas em humanos ou animais mortos ou ainda em modelos matemáticos extraídos de exames de imagem de pacientes. Esta tese utilizou o mesmo modelo matemático baseado em dados de porcos e humanos como em Brazil et al. (19) porém, ao invés de fazer o uso de simplificações cilíndricas das camadas internas do corpo usados por ele, foi gerado um modelo 3D onde cada camada entre a pele e o último tecido alcançado é representada de forma fiel a anatomia do corpo humano. Para isto, a modelagem destas camadas do tronco de um corpo feminino foi construída tomando como base um corpo 3D interativo e preciso do ponto de vista científico que está disponível para acesso público (15). Desta forma, foi obtido um resultado visual similar ao da visão 3D do simulador de punção lombar de Färber ou ainda do simulador USEIT, sem a necessidade de fazer o uso de imagens médicas como em Färber et al.

(41). Ter uma representação correta das camadas internas do corpo na área de aplicação das punções é uma característica indispensável para que sejam corretamente adotadas as abordagens mediana e paramediana de inserção da agulha. O ambiente de treinamento proposto nesta tese permite que as simulações destas duas abordagens sejam adotadas de forma que agulha atravesse as camadas corretas em cada caso.

A possibilidade de se fazer infinitas simulações, característica inerente a todos os simuladores computacionais, também é uma grande vantagem destes. Em simuladores baseados em *phantoms*, ao menos algumas peças têm as suas vidas úteis comprometidas com o grande número de procedimentos que precisam ser efetuados. São necessárias muitas repetições de procedimentos para que o médico adquira as habilidades das técnicas de anestesia de neuroeixo (62). Pelo estudo de Kopacz; Neal; Pollock (63) são necessárias em torno de 45 procedimentos de raquidiana e 60 de peridural para que o iniciante chegue a 90% de sucesso no procedimento.

O *feedback* para o usuário é outro ponto muito importante que somente pode ser implementado por simuladores computacionais. Dentre os simuladores estudados, várias formas foram utilizadas para essas respostas como: gravações de execuções para estudo posterior (41, 43), a descrição do conhecimento obtido, assim como a graduação da qualidade da prática (129, 8, 34, 19, 83). Estas características são fundamentais para uma ferramenta de aprendizado tanto para o aprendiz quanto para o avaliador. O aprendiz se beneficia ao acompanhar o seu aprendizado e pode aumentar sua dedicação em caso de identificação de falhas em algum ponto específico da prática. O avaliador pode usar o retorno da ferramenta para quantificar o nível de habilidade do aprendiz e definir limites antes da prática em pacientes reais.

No ambiente de treinamento aqui desenvolvido foram configurados diferentes níveis de dificuldade de procedimentos (no mínimo três), que precisam ser feitas com determinado nível de habilidade para que assim seja recebida uma nota geral de zero a dez, relativo ao grau de assertividade do aprendiz na prática como um todo. Ele também receberá uma nota indicativa da habilidade demonstrada em cada nível e quais os pontos a melhorar (no caso de erros de procedimento serem identificados). A quantidade de procedimentos necessários a serem executados antes de o sistema determinar que o desempenho do aprendiz foi satisfatório, o que encerra o treinamento, aumenta caso o aprendiz apresente muitos erros nos procedimentos e diminui com os procedimentos sendo feitos da forma correta o que, de certa forma, tem similaridades com outros simuladores que apresentam graduação da qualidade da prática. O *Epidural Injection Simulator*, (EIS) desenvolvido por Wil-

son et al. (129) apresenta *feedback* em tempo real e possibilita customização das forças e criação de cenários distintos dos inicialmente disponibilizados. O *Spinal Anaesthesia Simulator* (8, 34) permite configuração de níveis de dificuldade e retorna para o usuário o nível de aprendizado e habilidades adquiridas em cada nível. O simulador desenvolvido por Brazil (18) também permite configuração das forças e atribui penalizações de acordo com os erros cometidos pelo aprendiz, fornecendo, desta forma, um retorno que indica a evolução do aprendiz. No simulador USEIT é descrito como *feedback* a sensação de LoR sentida ao pressionar a agulha adaptada ao háptico, assim como métricas de avaliação do desempenho que não foram claramente detalhadas (83).

Tabela 6: Comparação das principais características dos simuladores computacionais.

Nome do simulador (referência)	Ano de desenvolvimento	Realidade virtual	Epidural (E) Raquianestesia (R)	Testado por especialistas	Baseado em dados medidos	Quantidade de pacientes (M para múltiplos)	Feedback para o usuário	Coluna palpável	Escolha do ponto de inserção da agulha	Abordagens mediana (M) e paramediana (P)
Epidural Sim (116)	1995	3D	E	S	S	M	N	N	S	MP
Epidural Injection Simulator Profile Manager (129)	2003 (1a versão)	2D	E	N	N	M	S	S	N	NI*
Mediseus® epidural simulator (73)	2006	3D	E	S	N	2	N	N	N	MP
Spinal Anaesthesia simulator (8)	2006	3D	ER	N	S	M	S	N	S	MP
EpiSim (130)	2008	3D	E	N	N	M	S	N	N	NI*
Simulador de punção lombar de Färber (40)	2009	3D	ER	S	S	3	S	N	S	MP
Simulador epidural de Dubey (35)	2013	3D	E	N	S	M	N	S	S	MP
Epidural Haptic Game Simulator (19)	2017	3D	E	N	S	M	S	N	S	MP
Simulador epidural de Senac (103)	2019	N	E	S	S	3	N	N	N	M
USEIT (83)	2021	3D	E	N	N	1	S	N	S	MP
Ambiente de simulação desta Tese	2022	3D	R	S	S	M	S	S	S	MP

*Não informado para este trabalho.

4 Materiais e métodos

O sistema desenvolvido a partir do uso do dispositivo háptico para treinamento de anestesia raquidiana apresentado nesta tese envolve a criação de um simulador que permite o treinamento de aprendizes na técnica de anestesia raquidiana, utilizando um ambiente virtual de treinamento com uso de RV. Usuários em treinamento recebem *feedback* em relação a execução do procedimento. Foi desenvolvida a modelagem 3D de um tronco de grávida parametrizado de forma a permitir múltiplas variações de cenários de treinamento no que diz respeito as características físicas da paciente. Os experimentos foram executados em três fases com objetivos distintos. A primeira, para testar a viabilidade de representação das principais sensações envolvidas neste tipo de anestesia. Nesta fase, gráficos de força *versus* deslocamento da agulha foram utilizados para descrever o comportamento durante a perfuração das camadas nos experimentos desta tese. Também foram usados questionários onde se procurou reduzir a subjetividade da interpretação dos gráficos. Na segunda fase de testes, o objetivo foi a avaliação da usabilidade do sistema e, para tal, foi utilizado o método SUS (23). Na terceira e última fase, foram feitos testes com especialistas, visando validar a assertividade das representações das sensações em comparação com o procedimento real, bem como traçar um comparativo com um simulador com características similares.

O ambiente virtual desta tese foi desenvolvido utilizando o motor de jogo Unity3D (120) com uso de *plugin* para o dispositivo háptico *Geomagic Touch*®), os *scripts* foram desenvolvidos em C#. O código foi desenvolvido tomando como ponto de partida o simulador epidural desenvolvido por Brazil (18). Diversas funcionalidades existentes foram estendidas e modificadas bem como outras foram criadas ou removidas de acordo com a necessidade. O foco passou de anestesia epidural para anestesia raquidiana. Um novo modelo 3D foi construído para representar as camadas do corpo humano. Para isto, as formas e volumes das camadas foram baseadas num corpo 3D interativo cientificamente preciso (15). Adicionalmente, as principais camadas (tecidos do corpo) foram programadas com uma margem de crescimento individual, onde o crescimento da camada

mais interna “empurra” as camadas mais externas pra fora. Isto foi feito para possibilitar uma maior diversidade de cenários e para que estes sejam visualmente coerentes quando a transparência das camadas for aplicada. Além da possibilidade de se crescer individualmente cada camada, também é possível que todas as camadas cresçam de forma homogênea através da aplicação de matrizes de transformação.

4.1 Desenvolvimento do ambiente de treinamento

O modelo 3D para o tronco do corpo feminino (área onde é feita a punção) foi desenvolvido usando o software de modelagem e criação *3ds Max* (11). Exemplos das suas diversas camadas internas podem ser observados na Figura 33.

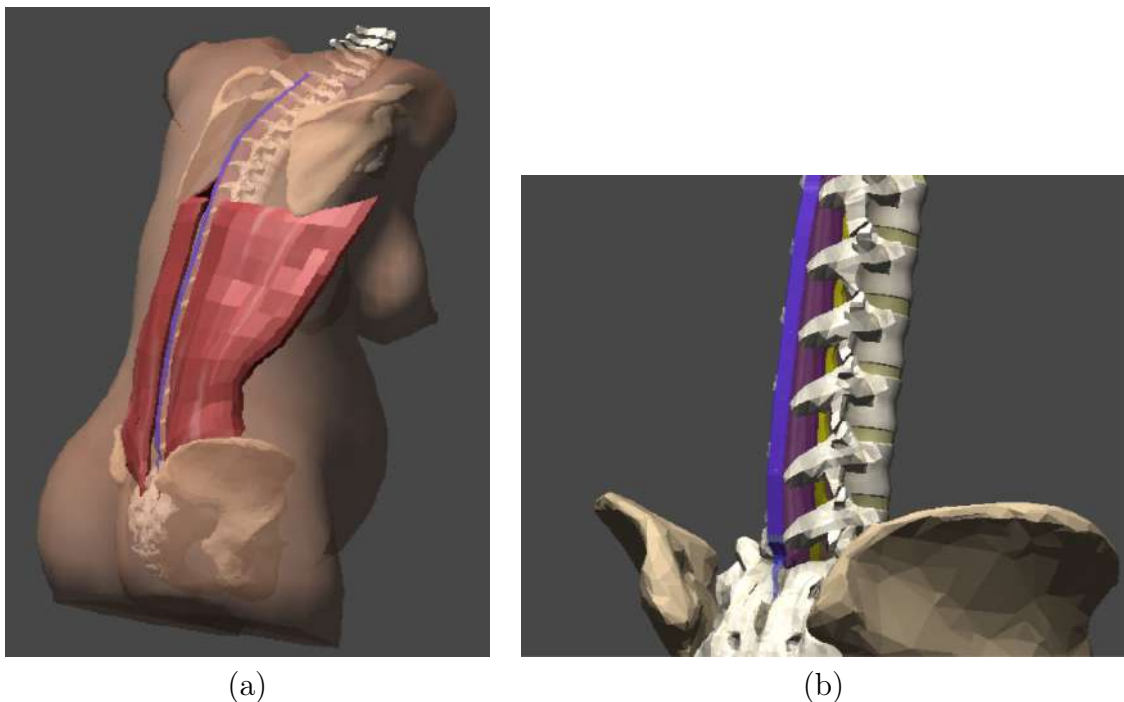


Figura 33: Modelo 3D de corpo de mulher grávida desenvolvido com diferentes níveis de transparência (77): (a) Corpo, ossos e músculos (b) Osso, vértebras e ligamentos.

Para ter acesso ao controle do crescimento das principais camadas do modelo 3D (tronco), primeiro é necessário iniciar um projeto na *Unity* e importar o modelo 3D. Com isto, estes controles ficam acessíveis via código nas diversas linguagens suportadas pela *Unity*, assim como via interface da *Unity*. Como foi necessário fazer modificações em tempo de execução, optou-se pelo acesso através do código em C# para fazer as modificações de tamanho das camadas (quando necessário).

Para que seja possível fazer a interação com o dispositivo háptico *Geomagic Touch®*,

o driver *Open Haptics Touch Device* precisa ser instalado na máquina onde o dispositivo será usado. Este driver pode ser encontrado no endereço eletrônico da empresa responsável pela produção e comercialização deste dispositivo háptico (2). Para que este dispositivo possa ser utilizado na *Unity* é necessária a instalação do *Haptic Plug-In For Unity3D* (95). Este *plugin* contém exemplos que exploram as funcionalidades dos dispositivos hápticos suportados. As características específicas que foram utilizadas nos experimentos são comentadas no Capítulo 5. No ambiente de treinamento foram utilizadas configurações, levando em consideração o retorno dos experimentos, ajustadas de acordo com cada corpo de paciente em simulação.

Foi incluída uma visão lateral (Figura 34) para possibilitar um outro ponto de vista do procedimento (ideia oriunda do *feedback* de um anestesista sobre pontos de melhoria da ferramenta de treinamento). Esta característica ajuda, não só o indivíduo em treinamento, mas também pessoas que estejam assistindo ao vivo ou ainda gravações deste que venham a ser disponibilizadas futuramente. Nesta mesma imagem, também é possível observar a demonstração da visibilidade das camadas interiores do corpo (que é exibida ao pressionar com o mouse o botão “visibilidade” no menu do lado esquerdo) ou ao pressionar a tecla “V” do teclado. Esta funcionalidade pode ser utilizada por iniciantes nos seus primeiros treinamentos assim como por educadores para turmas que estejam assistindo demonstrações feita por estes. Pode-se ler ainda nessa imagem (no alto, à direita) as instruções sobre como alternar entre equipamentos. Essa alteração pode ser feita a partir de números do teclado ou do segundo botão do dispositivo háptico. Foi considerado aqui como primeiro botão o que fica mais perto da ponta da “caneta” do dispositivo. Este primeiro botão, ao ser pressionado, faz com que o líquido da anestesia seja expelido da seringa. As setas para direita e esquerda variam a posição de visualização, como se o médico estivesse se deslocando lateralmente na cena. Na parte da esquerda (ligeiramente acima da área do tronco da paciente) e acima dos botões, estão os dados da paciente (idade, altura e peso).

Uma outra opção de execução do procedimento incluída foi a possibilidade de mudança de posição da paciente (Figura 35), que além da posição sentada (forma inicial escolhida para o simulador), agora também permite que o procedimento seja feito com ela deitada (estas são as duas posições em que ocorre o procedimento de raquianestesia, conforme descrito na Seção 2.1.1).

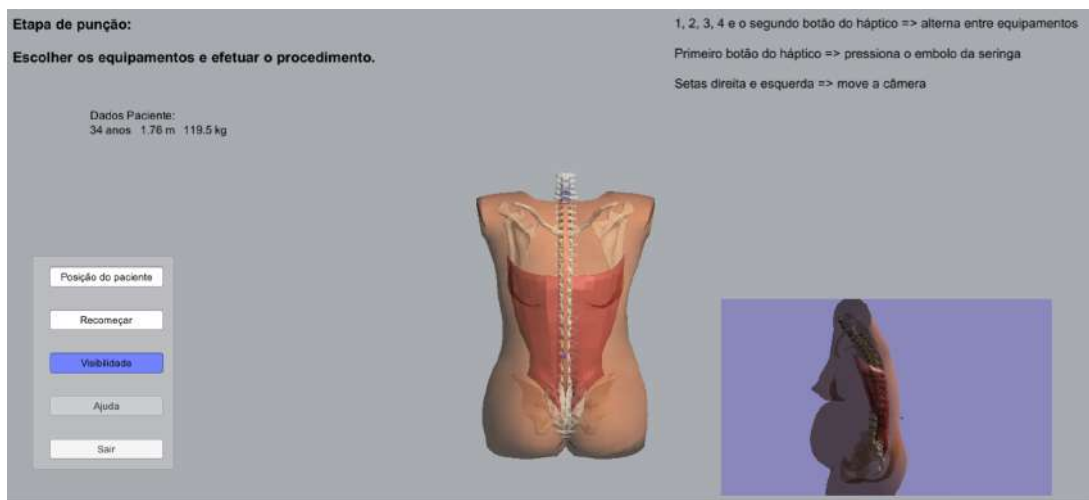


Figura 34: Visão geral do sistema com tronco de paciente centralizada na tela na posição sentada. Do lado inferior direito a visão lateral desta mesma parte do corpo. Neste caso, foi aplicada a transparência para visualização das camadas internas

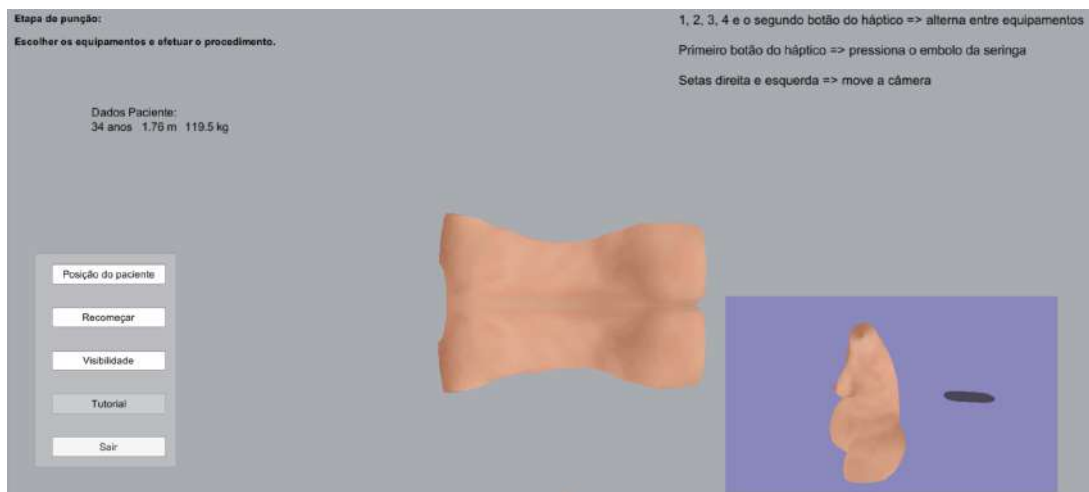


Figura 35: Visão geral do sistema com tronco de paciente na posição deitada.

4.1.1 Simulação de pacientes virtuais

Um dos benefícios da criação de ambientes virtuais para treinamento é a possibilidade de se ter uma quantidade muito grande de casos com características diferentes para o treinamento. Estas possibilidades estão limitadas somente pela abrangência do modelo para criação de pacientes virtuais. Conforme descrito anteriormente, para esta tese foi criado e utilizado um modelo dinâmico para geração de pacientes do sexo feminino, grávidas. A variação física externamente visível das pacientes é função da altura e massa corpórea. Para as camadas internas envolvidas na anestesia raquidiana, a distância da pele até o espaço epidural (DEE) também deve ser levada em consideração, para uma representação mais real da relação entre os dados de massa e altura da paciente com a distância entre

estas camadas, conforme descrito na Seção 2.4.

Esta Seção descreve como foram usados os dados e equações de populações locais descritas por Clinkscales et al. (27), Sharma et al. (105), Hazarika et al. (52) para a modelagem de uma equação genérica na determinação da DEE, buscando representar todos os grupos populacionais da Tabela 4. A abordagem usada aqui foi descrita em Melo et al. (78).

Sharma et al. (105) ao invés das equações apresentaram cinco pontos contendo a DEE o IMC representando cada população. Optou-se, então, por utilizar o método dos mínimos quadrados para obter as equações de cada grupo, através do melhor ajuste de curva que representasse cada um dos quatro grupos da Tabela 3. Para cada ponto, o eixo X representa IMC e o eixo Y a DEE. As equações resultantes (que minimizam a soma do quadrado das diferenças para cada ponto) para cada grupo desta tabela estão representadas na Tabela 7. Os nomes dos grupos na tabela estão renomeados para a forma que estes serão referenciados no restante desta tese.

Tabela 7: Equações resultantes do uso do métodos dos mínimos quadrados nos dados de Sharma et al. (105).

Grupo	Equação
RU - Brancas	$DEE = 2,18 + 0,13 \text{ IMC}$
RU - Asiáticas	$DEE = 2,24 + 0,11 \text{ IMC}$
RU - Negras	$DEE = 1,98 + 0,15 \text{ IMC}$
RU - Chinesas	$DEE = 3,08 + 0,07 \text{ IMC}$

Os dados brutos dos indivíduos de cada população dos três trabalhos analisados na Seção 2.4 não foram disponibilizados publicamente. Desta forma, foi tomado como premissa que o resultado de cada equação representa corretamente a DEE dos indivíduos da população para o qual cada trabalho foi desenvolvido. Com isto, foram gerados randomicamente dados de massa, altura e idade para duzentas pacientes. Os valores mínimos e máximos para cada parâmetro foram: Massa (em quilos) de 50 a 70; Altura (em metros) de 1,40 a 1,90; Idade de 18 a 40 anos. Os valores de massa e altura foram utilizados para que fossem contemplados indivíduos com baixo peso, peso médio, sobrepeso e obesidade com base na *Pregnancy Weight Gain Calculator* (Calculadora de ganho de peso na gravidez) (85). Para idade mínima foi levada em conta a definição de maioridade civil e, para a idade máxima, foi considerado o aumento do risco de gravidez acima da idade de quarenta anos. A quarta variável de entrada, IMC, foi calculada pela equação padrão (que usa massa em quilos dividido pelo quadrado da altura em metros). A Tabela 8 des-

creve a média e o desvio padrão das três características das pacientes que foram geradas randomicamente para criar os dados populacionais assim como o IMC calculado a partir destas três variáveis.

Tabela 8: Dados populacionais gerados aleatoriamente.

Característica	Média	Desvio Padrão
Idade (anos)	28,70	6,58
Altura (m)	1,65	0,15
Massa (kg)	68,97	11,80
IMC (kg/m^2)	25.84	6,55

Usando os dados populacionais como entrada foi calculado o DEE das duzentas pacientes para cada grupo populacional usando as equações das Tabelas 2 e 7. A Figura 36 ilustra as médias e desvios padrões da DEE dos grupos populacionais sinteticamente gerados a partir das equações destas tabelas. No gráfico desta figura, cada grupo é identificado pelo local de onde foram feitos os estudos que geraram as equações ou os dados que embasaram as equações para produção das amostras sintéticas, assim como pelos grupos nos quais cada estudo separou seus dados.

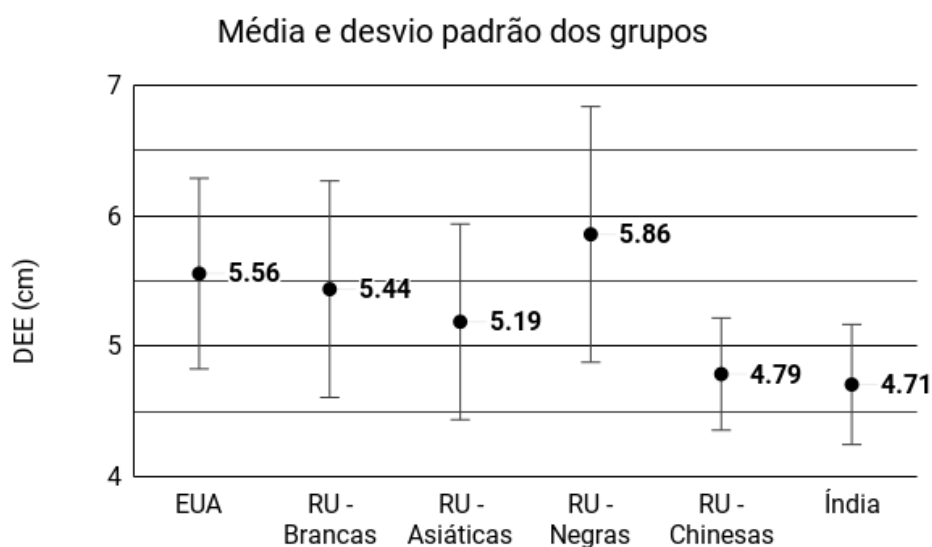


Figura 36: Média e desvio padrão da DEE estimada para as populações de cada grupo de grávidas separadas pelo local dos estudos e grupos distintos.

Para determinação de uma equação geral foram considerados os dados de todos os indivíduos em um grande conjunto. Os dados de todos os seis grupos foram utilizados como entrada de um método de regressão multilinear sem levar em consideração os grupos populacionais. A amostra populacional randômica é de $n=200$ (número de indivíduos em

cada grupo), considerando os 6 grupos tem-se então uma população para esta abordagem de $n=1200$. A influência de todas as variáveis independentes (massa, altura, idade e IMC) foi testada em relação à DEE no modelo de regressão multilinear. Somente o IMC demonstrou ter significância estatística ($p<0,01$). A equação de regressão 4.1 representa este modelo.

$$Y = 2,52 + 0,11IMC \quad (4.1)$$

Levando em consideração os dados de todos os grupos, o valor médio da DEE é de 5,3 cm com um desvio padrão de 0,74 cm. Os valores mínimos e máximos são respectivamente 3,82 cm e 8,6 cm. A Figura 37 mostra graficamente a comparação dos resultados das estimativas da DEE para as equações de todos os grupos em relação à equação genérica (curva laranja). O grupo de nome “RU - Negras” apresenta os maiores valores de DEE e o grupo Índia e “RU - Chinesas” apresentam os valores mais baixos. Os resultados da equação genérica apresentam como resposta um valor médio de todos os grupos.

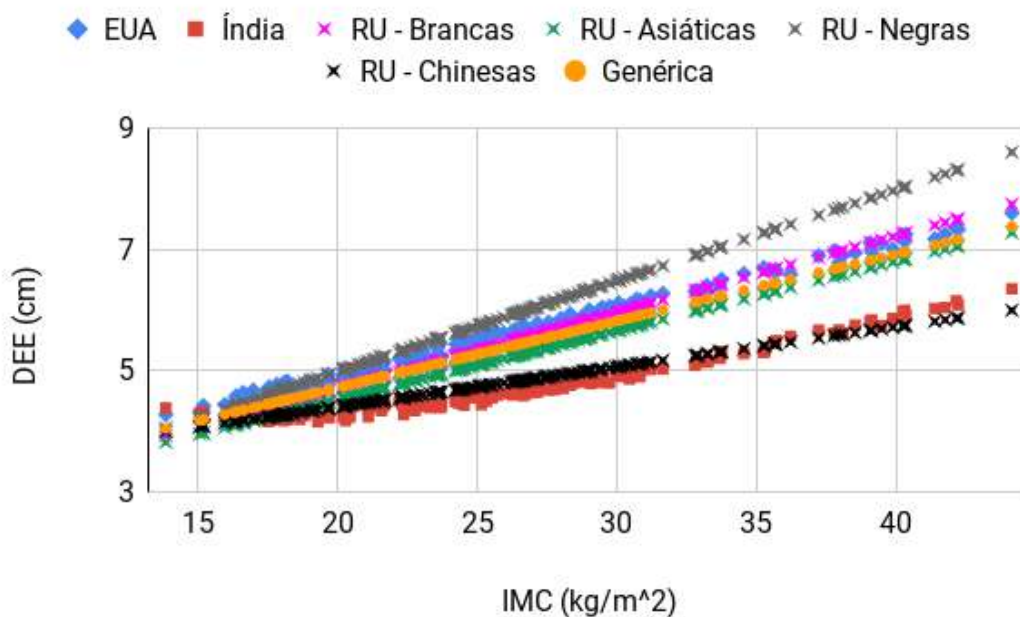


Figura 37: IMC x DEE para os grupos populacionais em comparação a equação genérica.

O valor 69,19% do R-quadrado ajustado se refere a equação 4.1. Este valor indica a proximidade entre os valores observados e estimados da variável analisada (neste caso a DEE). É um indicativo de quanto o modelo de regressão se aproximou dos dados de entrada. Embora o foco desta tese seja na representação da realidade brasileira é importante ressaltar que não foram encontradas nas nossas pesquisas dados deste tipo para a popula-

ção brasileira que é conhecidamente uma população miscigenada. Com uma aproximação de quase 70% e, representando uma média das diferentes populações usadas como entrada para este cálculo, foi assumido que a equação genérica pode ser satisfatória para fins de determinação da DEE de brasileiras por ter sido estimada a partir de uma população diversa e abrangente. Esta equação foi, portanto, utilizada nesta tese por não existirem equações mais representativas da determinação deste valor para grávidas brasileiras, que é o foco aqui.

Para a determinação do tamanho de cada camada foi utilizada então o valor da DEE calculada por essa equação genérica fazendo com que o crescimento seja proporcional em cada camada. Dessa forma esse crescimento mantém a ordem de grandeza dos tamanhos das camadas e leva em conta a informação de que o tecido mais afetado com a variação do IMC do paciente provavelmente deve se relacionar a gordura subcutânea (91).

A seguir é ilustrado como considerar a possibilidade de variação ou criação de novos corpos de pacientes através dos parâmetros existentes no modelo 3D desenvolvido. Essas alterações do corpo podem ser feitas tanto via interface da *Unity* (de forma estática) como via código C# (de forma dinâmica).

Como primeiro exemplo, são apresentadas as alterações de crescimento do tronco, simulando uma paciente com um IMC mais elevado em comparação com uma paciente com um corpo de IMC mais baixo. As duas imagens apresentadas na Figura 38 ilustram os extremos que podem ser obtidos com a variação de parâmetros implementada no modelo 3D criado. Para variações maiores é possível usar transformações matriciais através de simples comandos na *Unity* usando a transformação de escala. Nesta tese, optou-se pela implementação de um intervalo de variação para evitar a deformação através de matrizes de transformação aplicadas no objeto 3D como um todo. É sabido que existem regiões que são as mais afetadas pelo ganho de gordura corporal e, portanto, devem ser mais expandidas do que outras, visando um ganho visual mais próximo do real. A Figura 38 apresenta o *wireframe* de forma a ilustrar os polígonos que fazem parte do modelo 3D do corpo. Para fazer essas alterações via interface da *Unity*, primeiro é necessário importar o modelo 3D no projeto. Em seguida, é necessário adicionar este à hierarquia e posicioná-lo corretamente na cena. Ao selecionar o elemento do modelo 3D (que se chama *Body*), é preciso alterar o componente *Skinned Mesh Renderer* associado pelo *Unity* no momento da importação para cada camada (parte do modelo 3D) que possui parametrização (os componentes ficam na janela *Inspector*). Este componente possui uma Seção chamada *BlendShapes*, que exibe os parâmetros de deformação da camada. O parâmetro do objeto

Body se chama *Body_Final_Channel* e aceita valores de zero a cem, sendo 0 (zero) o valor que indica a ausência de deformação (Figura 38 (a)) e 100 (cem) o valor de maior deformação (Figura 38 (b)). Para alteração via código na mudança de pacientes foi utilizado o script em C#. O acesso para modificação deste percentual de deformação é feito a partir da variável que representa o corpo. Para este caso, a camada *Body* fica posicionada num vetor de camadas na primeira posição. A Listagem 4.1 apresenta um exemplo da parte do código que faz a deformação do corpo do paciente a partir do parâmetro passado. Este parâmetro é calculado como valor percentual a partir dos valores de DEE mínima e máxima implementados no sistema e do IMC do paciente, que é calculado a partir do seu peso e altura. A equação 4.1 foi utilizada para cálculo da DEE de cada paciente e, portanto, para determinação dos seus mínimos e máximos. Os valores mínimos e máximos da DEE são fixos pra cada execução do sistema sendo calculados a partir da base de pacientes disponível. Esta base pode ser alterada livremente para aumentar ou diminuir a variabilidade de cenários de teste conforme necessidade.

Listing 4.1: Exemplo de alteração do corpo do paciente via script em C#.

```
float imc = objPaciente.peso / (objPaciente.altura * objPaciente.altura);  
float dee = 2.52 + 0.11 * imc  
float percentDeformacaoCorpo = 100 * (dee - minDEE) / (maxDEE - minDEE);  
  
SkinnedMeshRenderer smRenderer;  
smRenderer = camadas[0].GetComponent<SkinnedMeshRenderer>();  
smRenderer.SetBlendShapeWeight(0, percentDeformacaoCorpo);
```

A Figura 39 exibe todas as pacientes atualmente cadastradas no sistema, ordenadas de forma decrescente em relação ao IMC. Ao lado de cada tronco com os dados de idade, altura e peso também é exibida uma visão lateral para melhor visualização das diferenças (que são distribuídas nos eixos X e Z). Fazendo um comparativo desde a paciente com maior IMC (no alto à esquerda) até a de menor (abaixo à direita), é possível observar parte das variações implementadas no modelo 3D em relação à camada do corpo. Observando a área da cintura, barriga e dorso pode-se perceber o afinamento destas áreas conforme o IMC é reduzido. É importante ressaltar aqui que a possibilidade de ajustar altura (crescimento no eixo Y) não foi trabalhada no modelo 3D por motivos de simplificação, mas esta pode ser alterada a partir de transformações de matrizes que são simplificadas através da classe *Transform* da *Unity*. Na Figura 40 é possível ver na imagem central o tronco da paciente na sua escala normal e duas alterações de escala, variando somente a altura em vinte por cento para mais (à direita) e para menos (do lado esquerdo). Da

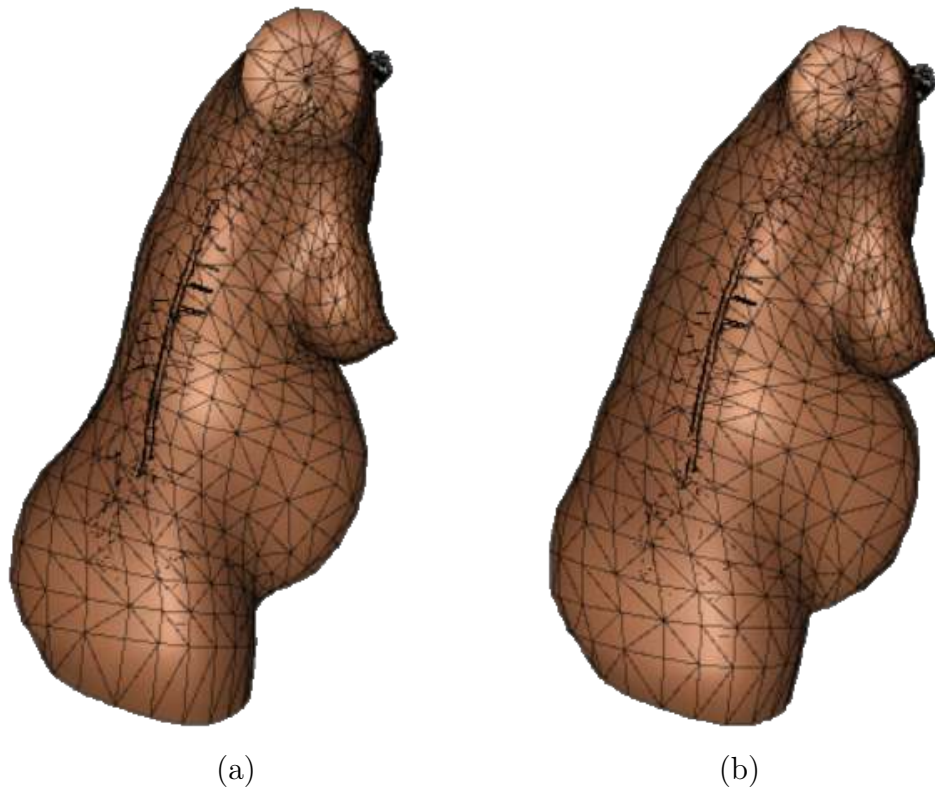


Figura 38: Troncos com extremos de IMC via parâmetro na posição lateral com *wireframe*: (a) Menor IMC (b) Maior IMC.

mesma forma que as alterações comentadas anteriormente, estas também podem ser feitas de forma estática ou dinâmica. Ajustes na altura envolvem o aspecto da correspondência com os dados da paciente, bem como um leve aumento ou diminuição do espaço entre as vértebras. De toda forma, o eixo mais importante para o contexto da simulação de raquianestesia é o da profundidade das camadas a serem transpassadas (eixo Z), por que é neste eixo que a agulha é inserida.

Para configuração do *Haptic Plug-In For Unity3D* (95), *plugin* utilizado para tratar a interface entre o dispositivo háptico e os itens 3D da simulação, foi necessário adicionar a cada camada do corpo alguns componentes. Os componentes a serem adicionados às camadas são o *Haptic Properties* e o *Mesh Collider*, através da seleção da camada na hierarquia e, em seguida, no *Inspector* deve-se ir no item Adicionar componentes e entrar com o nome destes. O componente *Haptic Properties* vem junto com o *Haptic Plug-In For Unity3D*. Ele serve para configurar as propriedades de interação com o háptico aos itens do universo 3D como as camadas do corpo da paciente no nosso caso (pele e demais camadas internas). Um exemplo de propriedade é a *Pop Through* que indica que força é necessário aplicar para que se perfure cada camada que está em contato com a agulha de anestesia durante uma simulação. Existem então configurações distintas para quando o movimento

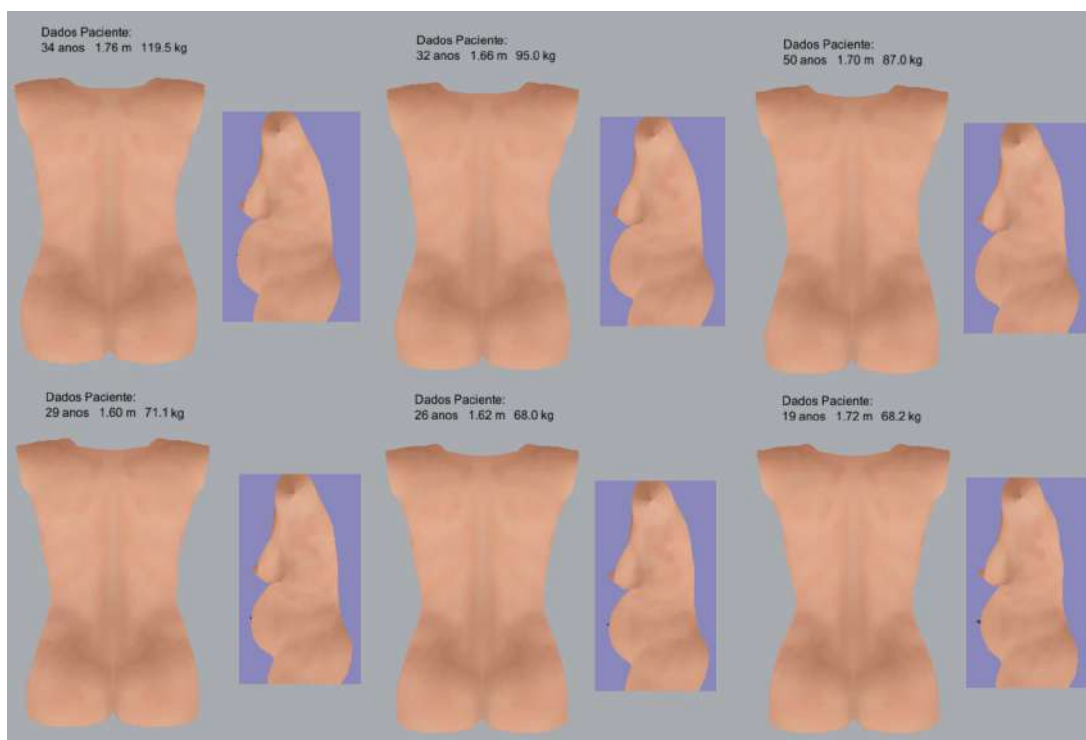


Figura 39: Ilustração dos troncos das pacientes cadastradas renderizados no sistema juntamente com a visão lateral do maior para o menor IMC.

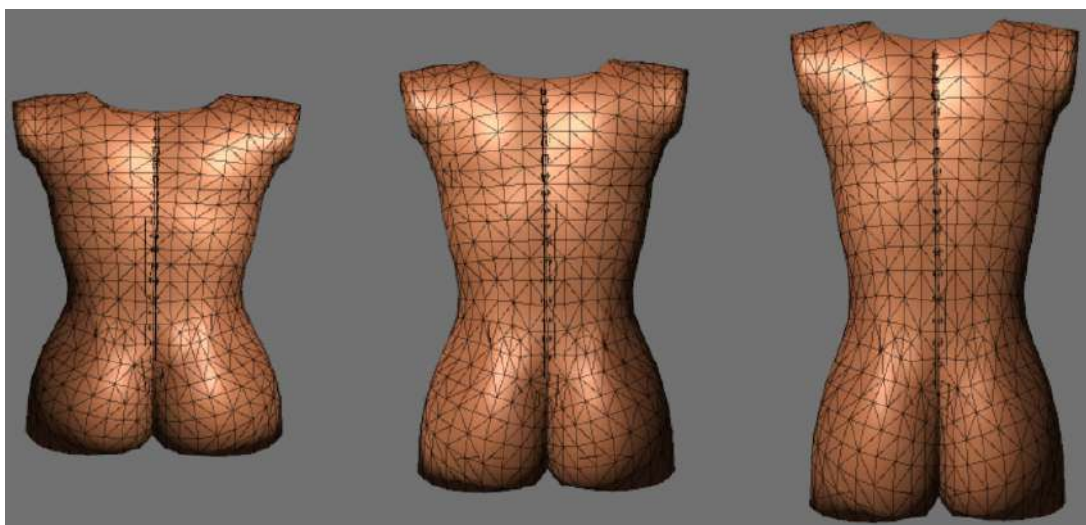


Figura 40: Exemplos de variação na altura do tronco por alteração em 20% para mais e para menos.

do háptico está representando o movimento do dedo do anestesista para palpação e descobrimento do local correto de punção e para o momento que o movimento representa os objetos perfurantes como a seringa de anestesia local e a agulha de raquianestesia. No caso do anestesista estar fazendo a palpação, esta propriedade deve assumir um valor que desabilita a perfuração (o valor para este caso é zero). Esta e demais características a respeito das propriedade utilizadas são descritas no Capítulo 5. Já o componente *Mesh*

Collider é nativo do *Unity* e é uma das formas de detecção de colisão da *engine* que usa a geometria visível do objeto para tal. Outra configuração necessária para todos os objetos que têm interação com o háptico é a inclusão da tag *Touchable* que deve ser feita através do *Inspector*. A tag *Touchable* também deve ser incluída em todos os objetos 3D que podem sofrer alguma influência a partir da movimentação do dispositivo háptico.

5 Implementação do Sistema desenvolvido

Um fluxograma descrevendo as interações entre o usuário e ambiente virtual de treinamento que contempla todas as funcionalidades pode ser visto na Figura 41.

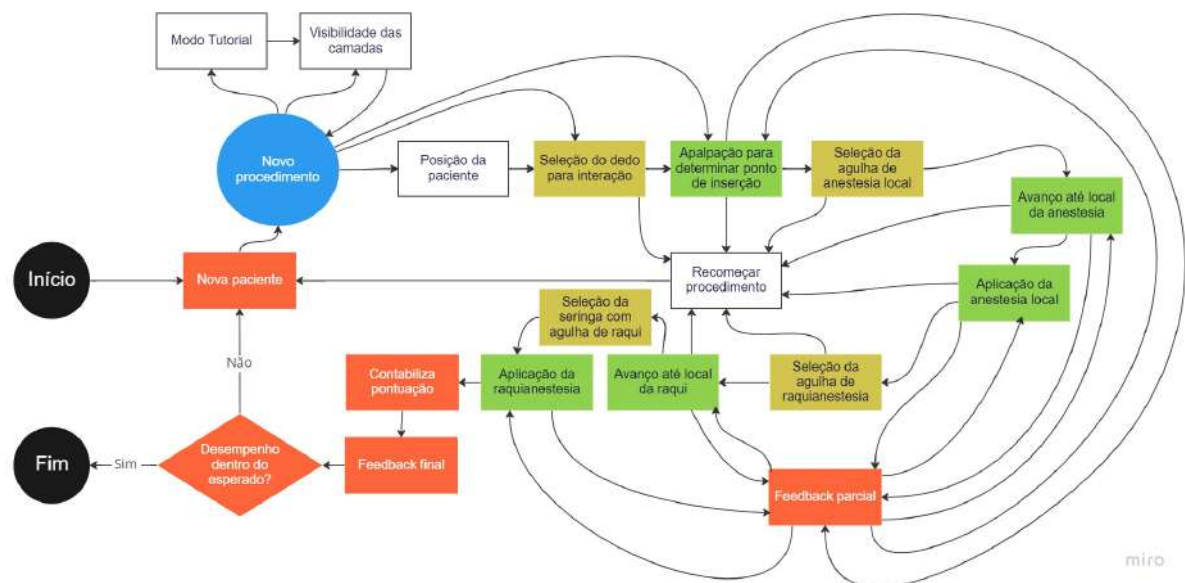


Figura 41: Fluxograma descrevendo tudo o que envolve a execução de cada novo procedimento no ambiente desenvolvido. Em branco estão as funcionalidades opcionais, em amarelo as interações que são feitas através de botões do háptico ou do teclado, em verde as interações que possuem retorno de forças do háptico e em vermelho as avaliações e retornos dados pelo sistema ao usuário.

Ao ser iniciado o sistema apresenta ao usuário uma paciente dentre as seis pré-configuradas ilustradas na Figura 39. Nesta figura existem pacientes com peso considerado normal, excesso de peso e obesas (85). O usuário deve, então, usar o dispositivo háptico para interagir com o ambiente virtual. Ao ser iniciado o sistema e a cada início de procedimento em uma nova paciente, ao movimentar o dispositivo háptico, o item que representa o dedo é movimentado no ambiente virtual de treinamento. O item no ambiente 3D que representa o dedo pode ser observado na Figura 42 (a) do lado direito do tronco da paciente. Outro item a ser observado nesta imagem é uma esfera azul que indica onde

foi o último toque do dedo no corpo da paciente. O último ponto tocado foi a estratégia definida para determinação da escolha do ponto de inserção da agulha na simulação. Nas Figuras 42 (b) e (c) estão atrás do tronco da paciente, respectivamente, a seringa para anestesia local e a agulha usada para aplicação da raquianestesia. No momento da aplicação da raquianestesia, uma seringa é conectada no final da agulha como pode ser visto pela visão lateral na Figura 43.

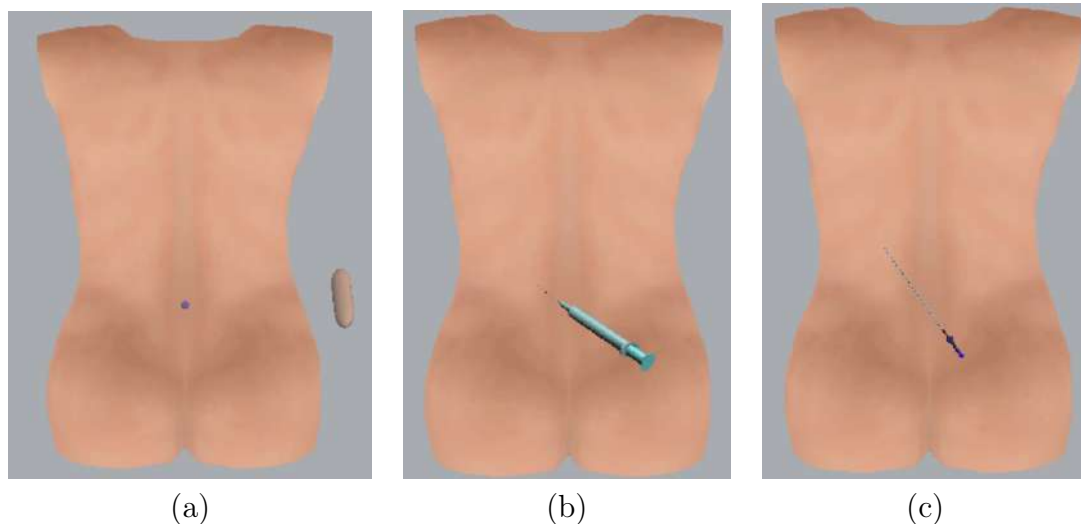


Figura 42: Elementos 3D de interação com o ambiente representativos do: (a) Dedo (b) Seringa para anestesia local (c) Agulha de raquianestesia.

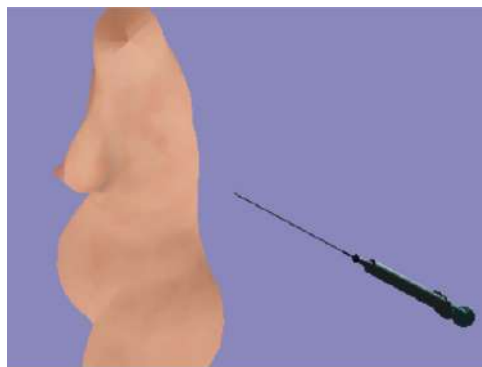


Figura 43: Visão lateral do corpo da paciente com aproximação da agulha de raquianestesia com a seringa conectada.

Cada procedimento no simulador é considerado como sendo finalizado no momento que é aplicada a raquianestesia, ou seja, ao ser pressionado o êmbolo da seringa conectada na agulha, desde que esta esteja dentro do corpo da paciente. É necessário completar a execução de ao menos três procedimentos tendo a média das notas acima de seis para que a habilidade do usuário seja considerada como satisfatória. A nota final corresponde a média da nota obtida em todos os procedimentos executados. No casos de não

se atingir a média seis nos três primeiros procedimentos será necessário executar tantos procedimentos quantos forem necessários para se chegar a média seis, considerando todos os procedimentos executados. Estas características foram inseridas no ambiente de treinamento e buscam aumentar a sua efetividade por meio do que é conhecido como a individualização em *serious games* (101).

A Tabela 9 ilustra a pontuação para formação da nota de cada procedimento. Como nesta etapa de desenvolvimento do simulador estávamos sem contato direto com um anestesista para auxílio na determinação destas pontuações, foi feita uma proposta de pontuação inicial baseada no conhecimento obtido a partir dos estudos do procedimento, suas falhas e consequências. Para cada procedimento a nota inicia em zero. Itens feitos corretamente e na sequência correta tem pontuação positiva e itens feitos de forma incorreta ou não feitos tem pontuação negativa. Para algumas ações não feitas, ao invés da pontuação negativa, não é aplicada nenhuma penalização uma vez que a não execução correta já acarreta em penalização por não adicionar pontuação positiva na nota. O item que tem mais influência na pontuação é a aplicação na raquianestesia no local correto uma vez que isto é o que determina se a pessoa estará ou não corretamente anestesiada ao final do procedimento.

Tabela 9: Pontos para formarem a nota final de cada procedimento.

Item executado	Ponto
Execução da apalpação para determinação do local de inserção da agulha	+1
Perfuração do corpo com seringa ou agulha antes da apalpação	-1
Anestesia local não aplicada	-1
Anestesia local aplicada com a seringa no local correto	+3
Avanço com a seringa até camadas indevidas (ex. ossos, espaço epidural)	-1
Perfuração do corpo da paciente duas ou três vezes (com seringa ou agulha)	-1
Perfuração do corpo da paciente quatro vezes ou mais (com seringa ou agulha)	-2
Inseriu a agulha de raquianestesia sem antes aplicar a anestesia local	-1
Aplicação da raquianestesia em local diferente do espaço subaracnóide	-3
Aplicação da raquianestesia no espaço subaracnóide	+6

São apresentados *feedbacks* para o usuário durante e ao final dos procedimentos executados em cada uma das pacientes. As Figuras 44, 45, 46, 47 e 48 mostram uma sequência de possíveis execuções de anestésias, ilustrando diferentes erros e acertos durante cada procedimento que são visualizados no *feedback* a direita durante a execução dos procedimentos e na janela de *popup* ao final destes.



Figura 44: Ilustração de *feedback* do ambiente após finalização de um primeiro procedimento onde a raquianestesia foi aplicada em local incorreto.



Figura 45: Exemplo de *feedback* do ambiente após finalização de um segundo procedimento onde a seringa foi inserida mais de três vezes no corpo da paciente e partes indevidas foram tocadas.

As Figuras 44 e 46 ilustram execuções de procedimentos onde as execuções foram abaixo da média (nota menores que seis) e, portanto, consideradas de desempenho não satisfatório. Na Figura 44 nota um (1) foi obtida pois o usuário fez corretamente a palpação para determinação do ponto de inserção da agulha e fez uma correta aplicação da anestesia local, porém aplicou a raquianestesia no local indevido. Já na Figura 46 o erro foi ter esquecido de fazer tanto a palpação pra escolha do ponto de inserção da agulha quanto a aplicação da anestesia local, mas foi aplicada corretamente a raquianestesia, o que fez receber cinco como nota final no procedimento. Os outros três procedimentos



Figura 46: Exemplo de *feedback* do ambiente após finalização de um terceiro procedimento, onde o usuário não fez a palpação para escolher o ponto de inserção da agulha e nem aplicou a anestesia local antes de inserção da agulha de raquianestesia.



Figura 47: Tela do sistema após finalização de um quarto procedimento em que todo o procedimento foi executado de forma correta.

foram efetuados com resultados acima da média sendo um deles (Figura 47) com a nota máxima (dez) por não ter cometido nenhum erro ou esquecimento. No procedimento representado pela Figura 48 a nota final foi nove, pois, o único erro foi o de esquecimento da palpação para determinação do ponto de inserção da agulha. Na Figura 45 os erros de execução no procedimento foram a perfuração do corpo da paciente mais de três vezes com a seringa e avanço desta para camadas indevidas o que fez com que a nota final para este caso fosse sete. Após os cinco procedimentos efetuados, uma vez que três deles tiveram notas acima da média e, a média da nota de todos os cinco procedimentos foi maior que



Figura 48: Exemplo de *feedback* do ambiente após finalização de um quinto procedimento onde só não foi feita a palpitação para determinação do ponto de inserção da agulha.

seis (somatório das cinco notas foi de 32) o usuário foi parabenizado pela sua performance e não foi necessário continuar com os treinamentos. Esta sequência de telas ilustra um treinamento usando o simulador desde o seu início até o final. Um vídeo que ilustra toda a execução de um procedimento, assim como uma visão geral do ambiente de treinamento desenvolvido nesta tese pode ser visto no link¹. Para demonstrar as funcionalidades dos botões laterais, incluindo a transparência das camadas e em parte o *feedback* dado durante o procedimento foi gravado um outro vídeo que pode ser visto no link².

Foi inserida no sistema uma opção de execução que guia o usuário mais inexperiente nas etapas da raquianestesia que estão disponíveis no ambiente de treinamento desenvolvido. Essa opção foi denominada de tutorial. Ao ser ativada, através do botão de nome tutorial, na área inferior à esquerda da tela, a transparência do corpo da paciente é habilitada e textos explicativos da etapa atual de cada procedimento são exibidos na área superior à esquerda da tela, como pode ser visto nas Figuras 49, 50. Nos textos destas telas, na primeira linha, é identificado o elemento de interação que está atualmente selecionado no ambiente virtual. O elemento de interação que representa o dedo do médico está selecionado na Figura 49, este sempre está selecionado ao iniciar um novo procedimento. Os demais elementos de interação existentes são a seringa de anestesia local, a agulha de raquianestesia e a agulha de raquianestesia com a seringa conectada a ela. Ainda nesta imagem, no modo tutorial, é falado sobre a primeira escolha que deve ser feita que é a da posição da paciente e a subsequente palpitação para identificação do ponto de inserção da

¹<https://youtu.be/g9RZRYId9ys>

²<https://youtu.be/gGpJKjKvYUW>

agulha.

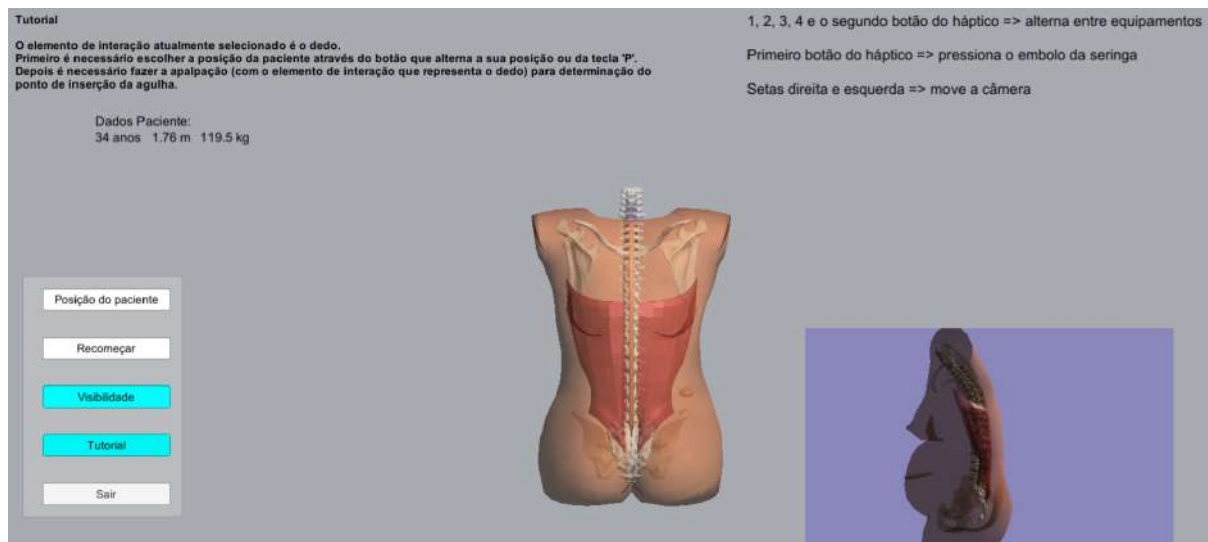


Figura 49: Exemplo do *feedback* do modo tutorial no ambiente no início do procedimento.

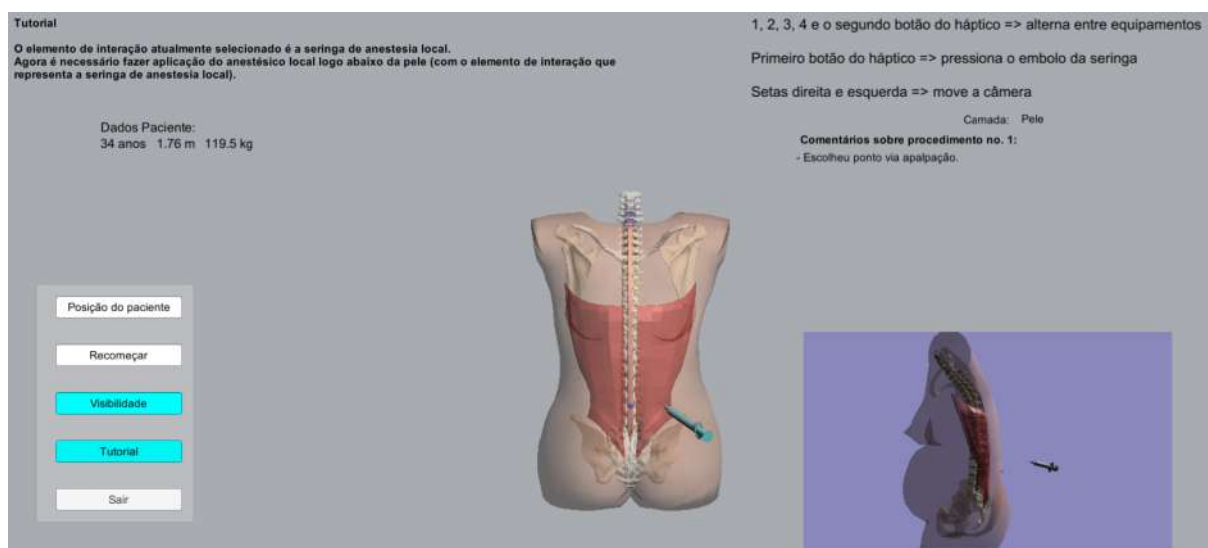


Figura 50: Exemplo do *feedback* do modo tutorial no ambiente após a escolha do ponto de inserção da agulha via palpação.

A Figura 50 ilustra o texto que é exibido após ter sido feita a escolha do ponto de inserção da agulha. É, portanto, falado sobre qual equipamento deve ser usado para efetuar o próximo passo do procedimento que é a anestesia local. Uma vez feita a anestesia local (no modo tutorial), o usuário é então informado sobre qual é a etapa a ser feita para finalização do procedimento. O sistema também informa com que equipamento e em que camada a raquianestesia deve ser aplicada como pode ser visto na Figura 51. Esta imagem ilustra que é possível remover a transparência das camadas (clitando no botão Visibilidade) e ainda continuar recebendo as ajudas do modo tutorial. Isto foi feito de

forma ao sistema possibilitar níveis de ajuda distintos, dependendo das necessidades do usuário além de tornar o sistema mais autoexplicativo.



Figura 51: Tela do sistema no modo tutorial após a anestesia local ter sido efetuada.

Na Figura 52 é ressaltado na tela do sistema a parte da informação sobre o tecido (camada) do corpo que foi tocada por último pelo elemento de interação (agulha de raqui-anestesia para esta imagem). Esta informação é exibida sempre que a transparência das camadas está habilitada. Esta informação é útil no treinamento ao possibilitar o reconhecimento das sensações experimentadas ao tocar (e transpassar) cada camada pela agulha de raqui-anestesia. Isto serve tanto para o treinamento de novos anestesistas inexperientes quanto para a validação destas sensações por anestesistas experientes, que é um próximo passo natural na continuação do desenvolvimento deste ambiente de treinamento. Um outro momento em que a informação da camada sendo tocada é exibida nesta mesma posição é quando, mesmo sem a transparência ativada, a ponta da agulha está posicionada no espaço subaracnóideo. Isto foi feito para substituir a dica visual do procedimento real, pois neste, quando a agulha atinge este espaço há o escorrimento de líquido pela agulha.

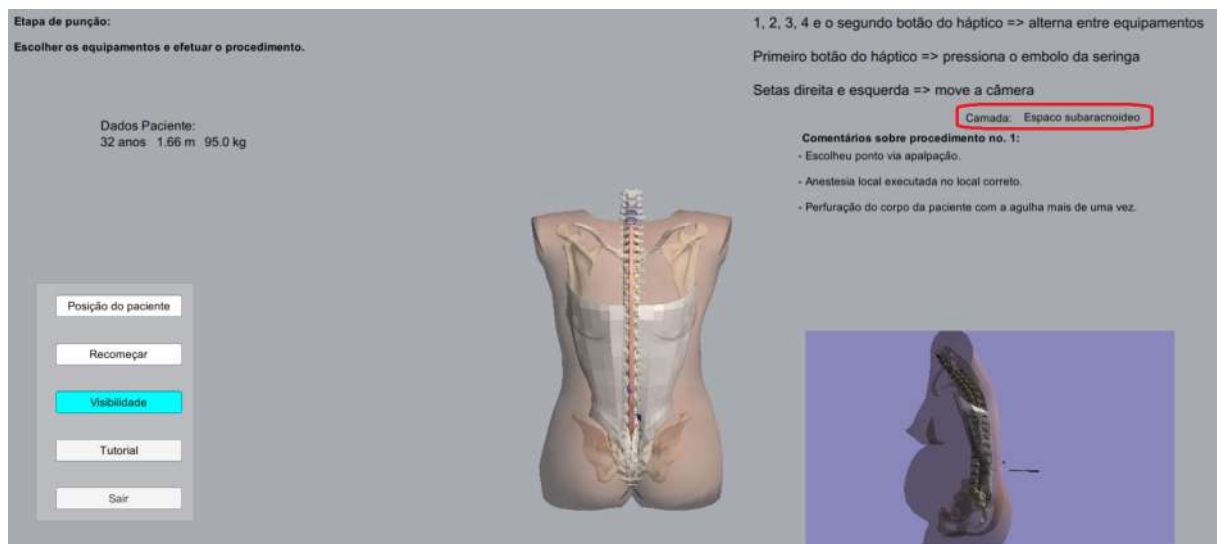


Figura 52: Demonstração do ambiente funcionando com a transparência das camadas ativada. A informação da camada atualmente tocada pela agulha está marcada em vermelho.

6 Testes

Neste capítulo, serão apresentados os testes que foram realizados em três fases distintas do ambiente de simulação. Todas as fases, como parte do projeto aprovado pelo comitê de ética do Hospital Universitário Antônio Pedro associado a Faculdade de Medicina da Universidade Federal Fluminense. Este projeto foi registrado na Plataforma Brasil do Ministério da Saúde sob o número 23637019.5.0000.5243 (texto no apêndice A). A primeira fase de testes envolveu avaliações das sensações proporcionadas pelo dispositivo háptico. A segunda e a terceira fases foram feitas em paralelo com todo o ambiente de simulação já desenvolvido. A segunda fase foi um teste de usabilidade e a terceira uma avaliação do ambiente desenvolvido por especialistas. A Tabela 10 detalha as características dos voluntários que participaram dos testes em cada fase.

Tabela 10: Características dos voluntários dos testes em cada fase.

n=84	Fase 1 - Estudantes de compu- tação	Fase 2 - Estudantes de compu- tação	Fase 3 - Médicos anestesis- tas
Tamanho da população, n	12	62	10
Homens, n (%)	11 (92%)	50 (81%)	5 (50%)
Experiência anterior com RV, n(%)	7 (58%)	37 (60%)	3 (30%)

Conforme comentado na Seção 4.1 foi utilizado o *Haptic Plug-In For Unity3D* para programação das interações com o háptico utilizando o motor de jogo da *Unity* (120) que é uma ferramenta muito utilizada para desenvolvimento de videogames e simulações com e sem RV para diversas plataformas. Este *plugin* possibilita a interação do usuário com os objetos no ambiente virtual de quatro modos distintos (95). Para este experimento foi utilizado o modo *Puncture* (modo de punção) pelo requisito do experimento em simular uma agulha sendo inserida através de camadas representativas de tecidos.

O *OpenHaptics driver* possui a definição de um conjunto de propriedades que representam como qualquer objeto 3D (camada, superfície, etc) tocável do ambiente virtual

desenvolvido reage a cada interação com o dispositivo háptico. As propriedades mais relevantes no contexto do modo de punção são *Stiffness*, *Pop Through*, *Static Friction*, e *Dynamic Friction*. Todas elas têm como domínio o conjunto dos reais e um número como parâmetro de entrada.

Stiffness representa o nível de dureza do objeto: zero (0) representa um objeto mole e um (1) o objeto mais duro possível (2). Neste ponto, é importante ressaltar que a quantidade de força máxima suportada depende das especificações do dispositivo háptico usado. Dispositivos mais simples e de custo mais baixo comumente suportam intensidades de forças menores se comparadas a dispositivos mais complexos e com custos mais altos. *Pop Through* controla o nível de força necessária para perfurar um objeto: zero (0) indica que o objeto não pode ser perfurado e um (1) que o máximo de força é necessário para perfurar o objeto (2). *Punctured Static Friction* configura a dificuldade de se mover dentro de um objeto perfurado a partir de uma posição estática. O limite inferior (zero) representa um movimento sem atrito e o limite superior (um) representa a quantidade maior de atrito suportada pelo dispositivo (2). *Punctured Dynamic Friction* controla a dificuldade de se mover dentro de um objeto depois que o movimento já foi iniciado (2). Da mesma forma que no caso estático o zero (0) representa um movimento sem atrito e um (1) o máximo de atrito suportado. Essas propriedades podem ser usadas para configurar o comportamento de cada camada de forma que o usuário tenha uma experiência tátil de interação virtual que simule o procedimento real. As propriedades *Stiffness* e *Pop Through* precisam ser configuradas para se determinar a força necessária por parte do usuário para perfurar cada objeto, enquanto que para determinar a força necessária para movimentação de uma agulha dentro de um objeto as propriedades a serem configuradas são *Punctured Static Friction* e *Punctured Dynamic Friction*.

6.1 Simulação das sensações

Esta Seção detalha os experimentos para avaliação do correto reconhecimento das sensações hápticas necessárias de serem simuladas para a reprodução do procedimento de raquianestesia. Os resultados destes experimentos são descritos ao final. A descrição destes experimentos e discussão dos resultados obtidos foram publicados em conferência da área (77).

Os experimentos foram apresentados a doze (12) voluntários que fizeram uso do equipamento háptico. Todos estes voluntários eram estudantes de Ciência da Computação

com idades variando entre 18 e 44 anos, sendo onze homens e uma mulher. Todos os voluntários concordaram com o termo de consentimento de participação nesta pesquisa que foi apresentado de forma digital via formulário *online* juntamente ao questionário. Eles também receberam uma breve explicação de aproximadamente cinco minutos a respeito do procedimento de uso do equipamento háptico no experimento. Em seguida, tiveram aproximadamente cinco minutos para usar um aplicativo de exemplo (Figura 53) para adquirir conhecimento sobre como interagir num ambiente com este tipo de dispositivo. Isto foi feito com o intuito de nivelar o conhecimento no uso do háptico e do estilo da RV. Este aplicativo de exemplo está disponível no *Haptic Plug- In For Unity3D* (95) e possui dois objetos para interação com uma agulha. Um deles possui 3 camadas de tecido e uma de osso e outro têm uma camada de tecido e outra de osso. Para construir critérios mais objetivos, nesta fase, as perguntas foram feitas com respostas esperadas em vez de questionários para validar as opiniões dos usuários. As respostas indicam se um comportamento específico pode ser mapeado corretamente. Todos os testes foram efetuados nas dependências do Instituto de Computação (IC) da Universidade Federal Fluminense com participação de alunos de graduação, mestrado e doutorado.

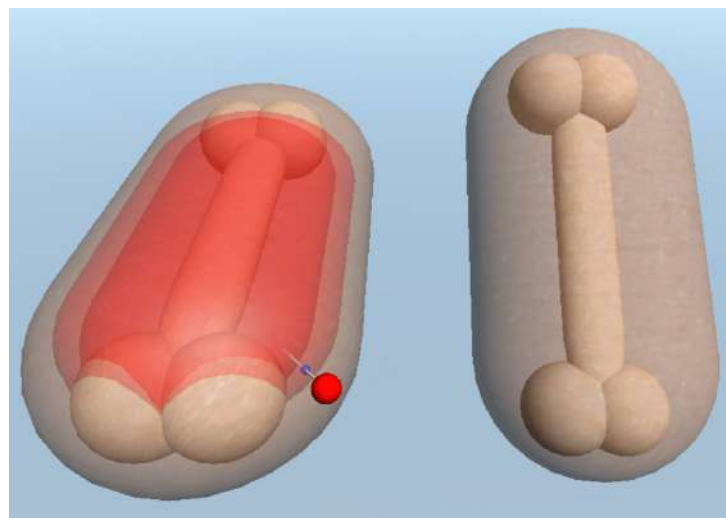


Figura 53: Aplicativo de exemplo usado para nivelar conhecimento. Dois objetos virtuais para interação com uma agulha virtual. No lado esquerdo um objeto com 3 camadas de tecido e uma de osso e a direita um objeto com uma camada de tecido e outra de osso.

Dois experimentos foram construídos para simular as diferentes sensações que os anestetas experimentam enquanto executam punções lombares. Nestes experimentos, os objetos 3D usados para simular as camadas do corpo foram simplificados e representados como hexaedros. Essa abordagem foi utilizada porque o objetivo destes experimentos era somente a avaliação das sensações de perfuração e deslocamento nas diferentes camadas proporcionadas pelo háptico e não algum tipo de avaliação estética. Deste modo,

foi removido o modelo 3D já desenvolvido para o simulador e foram utilizados modelos simplificados que não desviassem a atenção dos usuários do foco da avaliação. A Figura 54 ilustra a forma que foram demonstrados visualmente os experimentos com elementos 3D com textura e sem transparência. Isto foi feito para que a resposta fosse somente de acordo com o retorno tátil obtido na mão do usuário ao usar o háptico sem dicas visuais a não ser o deslocamento da agulha. Foi incluído um campo que demonstrava o deslocamento (profundidade) da agulha desde o início da perfuração, pois algumas perguntas que foram formuladas nos experimentos dependiam do conhecimento destas distâncias entre o ponto de perfuração e cada uma das sensações. O usuário movimenta o elemento 3D que representa a agulha através do dispositivo háptico. Uma visão lateral à direita foi adicionada para que fosse possível observar a agulha e os objetos sendo perfurados de perfil. Desta forma, foi possível observar facilmente quando a agulha estava totalmente inserida no objeto em cada experimento. As imagens dos detalhes dos objetos 3D dos dois experimentos podem ser visualizados na Figura 55. As setas de diferentes tamanhos no eixo Z ilustram as diferenças nos objetos 3D de cada experimento. A primeira camada (mais externa) é um cubo e as demais camadas têm profundidades menores mas todas têm a mesma largura (eixo X) e altura (eixo Y), como pode ser visto na Figura 55.

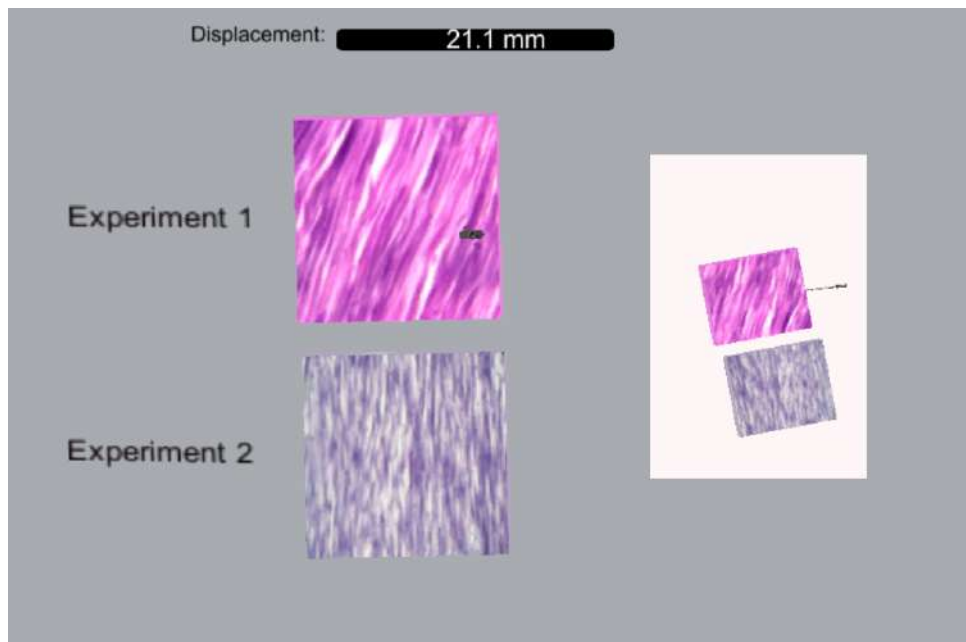


Figura 54: Aparência visual dos experimentos 1 e 2. Na esquerda a vista de frente e na direita com fundo branco a vista lateral. As diferenças nas dimensões ocorrem somente na profundidade das camadas internas.

O tamanho da agulha é 65 milímetros (mm). Para os dois experimentos foi incluída uma deformação na interface de cada camada com o aumento da força antes da perfuração.

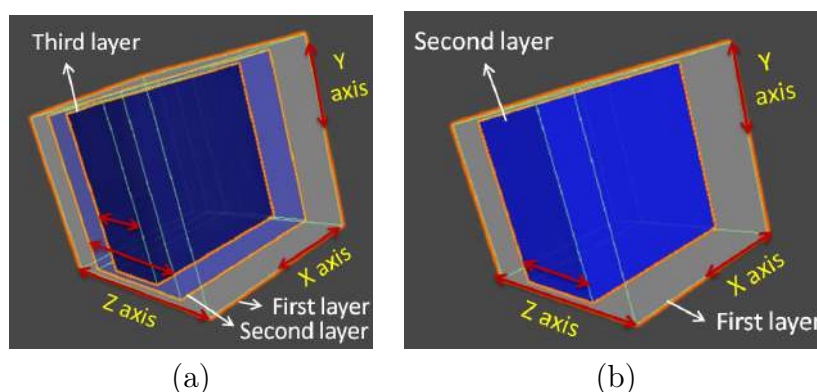


Figura 55: Os objetos 3D representam as camadas de cada experimento: (a) Primeiro experimento (b) Segundo experimento.

Essa deformação é uma função da força necessária para perfurar cada camada. Foi usado um valor máximo de deformação de cinquenta vezes o valor da propriedade *Pop through* em cada camada. O deslocamento desta deformação máxima é medido em milímetros. Logo após ser perfurado o tecido reassume a posição original (sem deformação).

A Tabela 11 descreve os valores configurados nas propriedades de cada camada do primeiro experimento. Para chegar até estes parâmetros, bem como os parâmetros de configuração do segundo experimento, foi efetuada uma série de testes, variando os parâmetros e analisando a resposta das forças sentidas assim como o gráfico de retorno das forças para ultrapassagem de todas as camadas. Foram escolhidos, então, os valores que apresentaram retornos de força (reforçados pela análise dos gráficos de força versus deslocamento), que permitiram a observação de todas as sensações que correm durante o percurso da agulha na raquianestesia. A deformação máxima para a primeira camada é de 2,5 mm, que corresponde a cinquenta vezes 0,05 (*Pop Through* da primeira camada). A Figura 56 apresenta um gráfico da força aplicada (eixo vertical) com o deslocamento da agulha representado no eixo horizontal para o experimento 1. As setas nesta imagem indicam a extensão da deformação de cada camada, começando na esquerda quando a agulha começa a tocar a camada e terminando na direita quando a camada é perfurada. O deslocamento da agulha observado na área sob as setas representa menores variações por conta da necessidade do aumento de força que vai deslocando lentamente a agulha enquanto deforma a camada até o momento em que a camada é perfurada. O espaço entre as setas da Figura 56 representa quando a agulha está em movimento dentro das camadas. As diferenças mais significativas no eixo de deslocamento da agulha (eixo X) podem ser observados nas áreas marcadas com retângulos. Estas áreas do gráfico representam o aumento da velocidade de deslocamento da agulha imediatamente após a perfuração de cada camada. Isto acontece porque imediatamente antes da perfuração da camada

está sendo empregada uma força necessária para perfuração que, ao ser mantida após a perfuração, implica um maior deslocamento dentro da camada. Observa-se nos picos de força (eixo Y) que a força necessária para perfurar a camada é bastante superior a força necessária para movimentação da agulha dentro da camada.

Tabela 11: Configurações das propriedades do *plugin* do háptico usadas no primeiro experimento.

Propriedade	Camada		
	1	2	3
<i>Stiffness</i>	0,75	0,75	0,75
<i>Pop Through</i>	0,05	0,15	0,10
<i>Punctured Static Friction</i>	0,20	0,30	0,30
<i>Punctured Dynamic Friction</i>	0,30	0,30	0,10

O segundo experimento tem duas camadas e sua configuração é descrita na Tabela 12. A curva de força versus deslocamento da agulha desse experimento está ilustrada na Figura 57 e aqui se aplicam as mesmas considerações feitas em relação às marcações de setas e retângulos discutidas em relação à Figura 56.

O ponto de referência considerado para a interface da primeira camada em cada experimento foi 0 mm. Esta referência serve para medir o deslocamento da agulha a partir do toque na primeira camada até atingir todas as demais camadas. Esta medida é feita na direção ortogonal à superfície da camada tocada pelo usuário com a agulha virtual. A segunda camada do primeiro experimento está posicionada a 25 mm a partir desta referência e a terceira camada está a 50 mm. A segunda camada do segundo experimento inicia a 35mm do ponto de referência.

Tabela 12: Configurações das propriedades do *plugin* do háptico usadas no segundo experimento.

Propriedade	Camada	
	1	2
<i>Stiffness</i>	0,75	0,20
<i>Pop Through</i>	0,05	0,15
<i>Punctured Static Friction</i>	0,90	0,10
<i>Punctured Dynamic Friction</i>	0,20	0,10

A quantidade de camadas de cada experimento proposto aqui difere do número original de camadas do procedimento descrito na Seção 2.1.1. Isto porque a ideia não foi representar todo o corpo ou procedimento. A ideia é reproduzir, nos experimentos, as

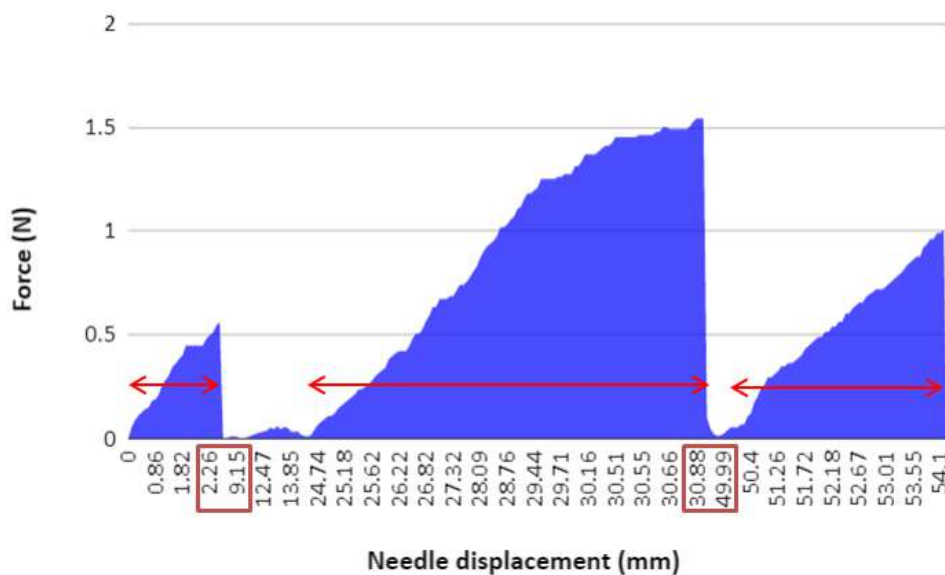


Figura 56: Relação entre força e o deslocamento da agulha média considerando dez simulações no experimento 1.

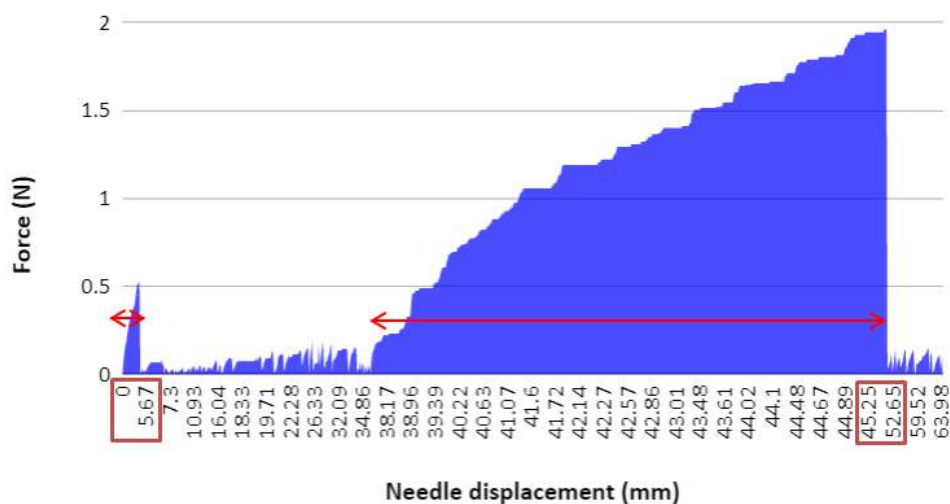


Figura 57: Relação entre força e o deslocamento da agulha da média de dez simulações no experimento 2.

sensações mais importantes e críticas envolvidas neste procedimento. As outras interfaces entre as camadas são simples reproduções de partes das que foram incluídas nestes experimentos.

6.1.1 Questionário

Entre os testes com a ferramenta de nivelamento no uso do háptico e o início do experimento os questionários com as perguntas de cada experimento foram apresentados para os usuários através de um endereço eletrônico para um formulário do Google. Isto foi feito de forma que, durante os experimentos, cada um pudesse coletar as informações necessárias para responder cada pergunta. As perguntas que foram apresentadas para os voluntários estão a seguir.

Questão 1) Experimentos número 1 e 2: Quantas camadas você pode sentir desde o momento de perfurar o objeto até chegar ao deslocamento máximo de 65mm? Observação: Cada camada é identificada por uma restrição à perfuração.

Questão 2) Experimento número 1: Ordene as camadas de forma decrescente em relação à resistência à perfuração. Exemplo de resposta: 1, 2 (considerando que existam duas camadas e a primeira é mais resistente que a segunda).

Questão 3) Experimento número 1: Em qual posição cada camada começa, ou seja, qual o ponto do deslocamento da agulha onde você identificou resistência para perfuração? Exemplo de resposta: Camada 1 = 0mm, Camada 2 = 10mm e Camada 3 = 30mm (considerando que tenham sido identificadas 3 camadas com resistências diferentes nestes 3 pontos de deslocamento).

Questão 4) Experimento número 2: Em qual intervalo (início e fim) de deslocamento foi observada maior resistência ao movimento de perfuração? Exemplo de resposta: Entre 10mm e 20mm.

Questão 5) Experimento número 2: Em qual intervalo (início e fim) de deslocamento foi observada uma necessidade de aplicação de uma força constante para o deslocamento? Exemplo: Entre 10mm e 20mm.

Todas as perguntas envolvem aspectos de identificação tátil vitais na realização de uma raquianestesia. Os exemplos de resposta foram ilustrados com o intuito de facilitar a posterior análise das respostas, procurando evitar excessos de descrições desnecessárias. A identificação do comportamento elástico é avaliado nas questões 1, 3 e 5 enquanto a questão 4 trata da identificação do comportamento plástico. A questão que envolve a identificação da posição inicial (3) assim como as que pedem a identificação de intervalos de comportamentos (4 e 5) sofrem impacto do deslocamento das interfaces de cada camada via deformação. Todas as camadas iniciam na sua posição de origem e apresentam um deslocamento por deformação imediatamente antes da perfuração que alteram esta

posição. Para fins de avaliação, foram consideradas corretas as respostas entre o ponto inicial e o ponto final de deslocamento pela deformação nas identificações de interface de cada camada.

6.1.2 Respostas

Esta Seção apresenta uma compilação das respostas dos participantes às perguntas de cada experimento da primeira fase de testes. Para o primeiro experimento, as respostas foram as seguintes:

Questão 1) Onze voluntários (aproximadamente 92%) responderam corretamente.

Questão 2) Sete voluntários (58%) responderam corretamente para todas as camadas. Onze voluntários (92%) acertaram a camada menos resistente e nove (75%) acertaram a mais resistente.

Questão 3) Nove voluntários (75%) responderam corretamente para todas as camadas. Todos acertaram a segunda camada e onze voluntários (92%) acertaram a primeira camada.

Após responder o primeiro questionário as mesmas pessoas executaram o segundo experimento e responderam o questionário deste conforme descrito a seguir:

Questão 1) Todos os voluntários (100%) responderam corretamente.

Questão 4) Nove voluntários (75%) responderam corretamente.

Questão 5) Oito voluntários (aproximadamente 67%) responderam corretamente. Nove (75%) acertaram o início.

6.1.3 Avaliação dos resultados

Esta Seção detalha cada um dos comportamentos mais importantes do procedimento e que foram utilizados nos experimentos para avaliar a percepção do usuário sobre o comportamento das camadas virtuais sendo perfuradas por uma agulha.

6.1.3.1 Resistência à punção

Considerando os sentimentos ou sensações de resistência à punção (o assunto da questão dois), apenas 58% dos respondentes ordenaram corretamente todas as camadas de acordo com suas resistências. Este resultado indica a necessidade de se aumentar a diferença na

força necessária para perfurar cada camada para permitir uma identificação mais assertiva de todas estas características. Este retorno foi levado em consideração para ajustes de configuração para as fases dois e três dos testes onde, em especial na fase três, anestesiistas experientes fizeram a avaliação do sentimento tátil do procedimento em relação ao que estes vivenciam nos procedimentos com pacientes reais. Na mesma pergunta, um número maior de voluntários identificaram a camada mais resistente ou a menos resistente à perfuração. Essa identificação é essencial para indicar quando a agulha penetra no ligamento amarelo (tecido mais resistente) ou a dura-máter (tecido menos resistente). Como estas duas camadas estão posicionadas no corpo humano uma após a outra (considerando o ângulo de perfuração correto), a correta identificação de uma é, por si só, um passo essencial na simulação correta do procedimento de raquianestesia.

6.1.3.2 Comportamento elástico

Quanto à identificação do comportamento elástico (questões 1, 3 e 5), apenas a questão cinco recebeu pontuação inferior a 75%. No entanto, mesmo nesta questão, apenas três voluntários apontaram erroneamente o ponto de partida do intervalo com maior restrição ao movimento da agulha, ou seja, 75% acertaram onde esta camada começa. Considerando somente os participantes que acertaram o ponto de partida, apenas um deles identificou erroneamente o ponto final desta camada.

Ótimas respostas foram obtidas na detecção do número de camadas (questão um) em todos experimentos. Identificar as camadas penetradas é uma das partes mais críticas do procedimento de raquianestesia. Isto indica tanto a determinação correta da interface entre as camadas quanto o reconhecimento do comportamento elástico que ocorre imediatamente antes de perfurar cada camada.

Quanto à identificação do ponto de início de cada camada (questão três) também é importante destacar o número de casos corretamente identificados (75%). Esta resposta reforça a necessidade de utilização de valores de profundidade desde a pele até o espaço subaracnóide, próximo da realidade para treinar melhor os anestesiistas. Cada ponto de partida da camada está relacionado com o início do comportamento elástico e é necessário aumentar a força para prosseguir com o avanço da agulha em cada interface entre camadas.

6.1.3.3 Comportamento plástico

A questão quatro, com 75% de sucesso na identificação, aborda um outro comportamento de grande importância na raquianestesia. A identificação de estar no interior da camada que apresenta a maior resistência, ou seja, sentir uma força de resistência constante contra o movimento através da camada (comportamento plástico) está relacionado ao ligamento amarelo, que ocorre imediatamente antes de se atingir o espaço peridural. As respostas a esta pergunta confirmam que esse comportamento pode ser simulado adequadamente.

6.2 Testes de usabilidade

Esta Seção detalha os testes para avaliação da usabilidade do ambiente de simulação desenvolvido nesta tese. Para isto, foi feita uma pequena simplificação no que diz respeito a execução do procedimento de raquianestesia usando o dispositivo háptico. Isto foi feito uma vez que a intenção nesta fase era a de avaliar a usabilidade por pessoas não especialistas na execução do procedimento de raquianestesia. Com isso a colisão referente aos toques das agulhas nas vértebras dos pacientes simulados foi removida para este teste, fazendo que a execução do procedimento pudesse ser feita de forma mais simples e sem necessidade do conhecimento médico de anestesistas. Esta simplificação foi feita através da remoção da *Tag Touchable* do objeto do modelo 3D que representa as vértebras. A ideia foi a de não frustrar os voluntários dos testes mesmo que previamente informando a eles que o desempenho deles em relação à correta execução do procedimento não estava em avaliação. Particularmente esta decisão demonstrou ter sido acertada uma vez que parte dos voluntários (mesmo com essa simplificação) aparentavam alguma frustração quando tinham dificuldade na execução do procedimento até o final e quando recebiam notas baixas pela sua execução. Importante ressaltar que todos os voluntários foram orientados que executar o procedimento corretamente não era relevante uma vez que eles não possuíam o conhecimento necessário para tal e um dos objetivos do sistema é exatamente treinar pessoas inexperientes. Todos os testes foram efetuados nas dependências do IC da Universidade Federal Fluminense com participação de alunos de graduação, mestrado e doutorado.

O ambiente de treinamento simplificado foi apresentado a sessenta e dois voluntários que fizeram uso do equipamento háptico, todos estes voluntários eram estudantes de Ciência da Computação com idades variando entre 18 e 58 anos sendo cinquenta homens e doze mulheres. Todos os voluntários concordaram com o termo de consentimento de

participação nesta pesquisa, ele foi apresentado de forma digital via formulário *online* juntamente ao questionário. Todos receberam uma breve explicação de aproximadamente cinco minutos a respeito do procedimento de uso do equipamento háptico e do propósito do sistema. Em seguida, usaram o ambiente de treinamento para execução de ao menos um procedimento de raquianestesia. A montagem inicial do equipamento consiste no posicionamento do *notebook* e do dispositivo háptico para execução dos procedimento no ambiente de simulação. Esta montagem foi feita conforme ilustrado na Figura 58 e só teve uma pequena variação com alternância do lado em que foi posicionado o dispositivo háptico quando o voluntário era canhoto.

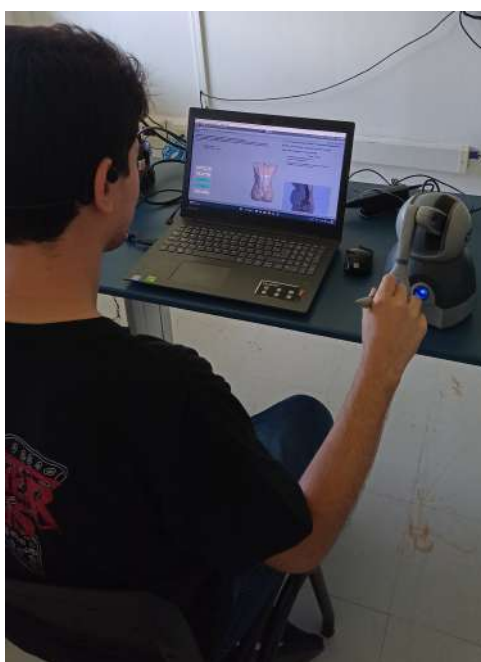


Figura 58: Montagem do ambiente de treinamento em uso durante os testes de usabilidade.

A Tabela 13 descreve os valores configurados nas propriedades de cada camada possível de ser perfurada para o ambiente de simulação desenvolvido. No caso do teste desta fase, a simplificação que foi feita remove a vértebra dos elementos que sofrem interação de perfuração, porém o objeto 3D continuou representado para motivo de visualização e estas propriedades não precisaram ser alteradas.

6.2.1 Questionário

Após a execução dos procedimentos por cada voluntário usando o ambiente de simulação para treinamento simplificado um questionário foi apresentado para os usuários. As respostas foram coletadas em sua maioria (questões um a onze) usando a escala *likert* (90) aceitando somente valores inteiros variando de 1 (Discordo fortemente) até 5 (Concordo

Tabela 13: Configurações das propriedades do *plugin* do háptico usadas no ambiente de simulação desenvolvido para cada uma das camadas modeladas no tronco da paciente virtual.

Nome da camada	<i>Stiffness</i>	<i>Pop Through</i>	<i>Punctured Static Friction</i>	<i>Punctured Dynamic Friction</i>
Pele/Gordura subcutânea	0.8	0.05	0	0.8
Músculo das costas	0.8	0.15	0.5	0.96
Ligamento supraespinhoso	0.8	0.15	0.6	0.995
Ligamento interespinhoso	0.8	0.15	0.6	0.995
Ligamento amarelo	0.9	0.3	0.7	0.997
Espaço epidural	0.2	0.05	0.33	0.4
Dura-máter	0.2	0.05	0.4	0.4
Ossos (escápula, quadril, discos e vértebras)	1	0	0	0
Espaço subaracnóideo	0.2	0.05	0.4	0.4

fortemente). As dez primeiras perguntas foram feitas baseadas no método *System Usability Scale (SUS)* (23), criado em 1986 para uma avaliação quantitativa da usabilidade. Ele é um método muito conhecido e utilizado e propõe uma escala numérica para avaliar a: Efetividade (se os usuários conseguem completar seus objetivos); Eficiência (o esforço e recursos que são necessários para completar os objetivos); e Satisfação (em relação à experiência do uso do ambiente proposto aqui). A forma de chegar a nota final (que vai de 0 a 100) a partir da pontuação de cada pergunta no método *SUS* (23) envolve uma transformação das pontuações de cada questão para um valor entre 0 e 4. Para isso, em cada uma das questões 1, 3, 5, 7 e 9, o valor da escala da resposta de cada voluntário é diminuída de um (1). Para as questões 2, 4, 6, 8 e 10 é usado o valor cinco (5) menos o valor da escala de cada resposta. Os valores calculados para todas as questões são então multiplicados por 2,5 e somados, obtendo assim a nota do *SUS* (23). Esta nota permite uma avaliação quantitativa que avalia evoluções de uma ferramenta ou mesmo a comparação da usabilidade desta relação à outras. A décima primeira pergunta foi incluída para ter um retorno a respeito do modo tutorial desenvolvido no sistema. A décima segunda questão foi uma pergunta pra resposta textual a respeito de sugestões de possíveis melhorias, ou seja, esta não tinha como resposta a escala numérica das demais. As perguntas

apresentadas para os voluntários estão descritas a seguir.

Questão 1) Eu usaria esse sistema com frequência.

Questão 2) Eu acho o sistema desnecessariamente complexo.

Questão 3) Eu achei o sistema fácil de usar.

Questão 4) Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema.

Questão 5) Eu acho que as várias funções do sistema estão muito bem integradas.

Questão 6) Eu acho que o sistema apresenta muita inconsistência.

Questão 7) Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse sistema rapidamente.

Questão 8) Eu achei o sistema atrapalhado de usar.

Questão 9) Eu me senti confiante ao usar o sistema.

Questão 10) Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o sistema.

Questão 11) O *feedback* do modo tutorial esclarece dúvidas sobre a sequência de ações a ser executada.

Questão 12) Você tem alguma sugestão de alterações na interface que poderiam melhorar a usabilidade? Se sim, comente.

6.2.2 Respostas

Nesta Seção é apresentada uma compilação das respostas dos participantes às perguntas do questionário. A distribuição das respostas das questões com escala numérica está detalhada na Tabela 14.

Quanto à questão 12 (textual), as respostas mais recorrentes a respeito de sugestões de alterações para melhoria estão descritas a seguir:

- Necessidade de melhoria da visualização para observar melhor a agulha e sua distância até o paciente com precisão;
- Informar de forma explícita quando ocorrer a perda de imersão háptica e o que deve ser feito a seguir para retomar a execução;
- Definir os objetivos de forma mais clara para iniciantes talvez com uso de imagens

Tabela 14: Média e desvio padrão das respostas ao questionário de usabilidade em relação ao ambiente de simulação desenvolvido nesta tese.

Número da questão	Média	Desvio padrão
1	4,2	0,9
2	1,7	0,8
3	4,1	0,9
4	3,2	1,3
5	4,2	0,8
6	1,5	0,7
7	4,6	0,6
8	1,7	0,9
9	3,7	1,0
10	2,0	1,1
11	3,8	1,1

além de somente texto ou da exibição de um video de uso da ferramenta;

- Destacar melhor cada tipo de instrução da interface, com cores diferente e ícones;
- Retorno para o usuário durante o procedimento por meio de cores, indicando se está no caminho certo ou errado;
- Uso de óculos 3D para melhoria da imersão e visibilidade e para diminuição da dependência em observar dois ângulos de visão ao mesmo tempo;
- Aproveitar melhor o espaço da tela aumentando o tamanho das visões do corpo da paciente;
- Mostrar de forma ampliada o local da aplicação da agulha e as camadas sendo perfuradas.

6.2.3 Avaliação dos resultados

Em relação às dez perguntas do SUS (23), a nota calculada a partir das respostas, considerando a fórmula proposta pelos autores, foi de 76,9 (os limites inferior e superior são, respectivamente, 0 e 100). Este valor, de acordo com BangorAaron; KortumPhilip; MillerJames (12) classifica o ambiente avaliado como “Bom” numa escala que vai desde a “Pior usabilidade imaginável” pra uma nota a partir de 12,5 com 13,1 de desvio padrão até “Melhor usabilidade imaginável” para média 90,9 com 13,4 de desvio padrão. Quanto à avaliação do modo tutorial (questão 11), 69,4% (43 voluntários) classificaram-no com o valor 4 ou 5 (Concordo fortemente). A distribuição das respostas dessa questão pode

ser observada na Tabela 15. As melhores sugestões apontadas em resposta a questão 12 foram incluídas na Seção 7.3.

Tabela 15: Distribuição das respostas da questão 11.

Respostas da questão 11	Frequência	Frequência percentual (%)
1	2	3,23%
2	8	12,90%
3	9	14,52%
4	23	37,10%
5	20	32,26%

6.3 Avaliações com especialistas

Esta Seção detalha as avaliações feitas por especialistas do ambiente de treinamento completo desenvolvido nesta tese. Para possibilitar uma maior adesão, todos os testes com especialistas foram feitos nas dependências do Hospital Universitário Antônio Pedro, na secretaria do centro cirúrgico, com anuência de todos os responsáveis pelo uso deste local.

O ambiente de treinamento completo foi apresentado a dez voluntários que fizeram uso do equipamento háptico. Nove destes voluntários eram anestesistas e um era residente de anestesia com idades variando entre 35 e 54 anos, sendo cinco homens e cinco mulheres. Cinco tinham três anos ou menos de experiência em anestesia raquidiana, três tinham por volta de dez anos de experiência e dois deles tinham vinte dois anos de experiência com este tipo de anestesia. A frequência mensal de execução deste procedimento entre os voluntários variou entre seis e vinte procedimentos em média. Todos os voluntários concordaram com o termo de consentimento de participação desta pesquisa que foi apresentado de forma digital via formulário *online* juntamente ao questionário. A seguir, receberam uma breve explicação (aproximadamente cinco minutos), a respeito do procedimento de uso do equipamento háptico e do propósito do sistema. Em seguida, usaram o ambiente de treinamento para execução de, ao menos, um procedimento de raquianestesia.

É importante ressaltar aqui que foi feita uma montagem inicial (posicionamento do *notebook* e do dispositivo háptico) para execução dos procedimentos como na Figura 58, porém alguns especialistas questionaram esta montagem por informarem que aquela posição não é a que eles tem o costume de executar o procedimento. Com isto, a montagem foi adaptada às posições preferidas de cada voluntário que fez este questionamento, procurando se aproximar ao máximo do posição real de execução deles. As Figuras 59 e 60 são

exemplos das montagem que foram feitas para execução dos procedimentos pelos especialistas. Na Figura 59 está a nossa sugestão inicial, a Figura 60 (a) mostra montagem de acordo com a preferência da voluntária em executar o procedimento de pé e a Figura 60 (b) ilustra a montagem sugerida pelo voluntário para posicionamento do equipamento háptico que simula a agulha em frente ao ambiente virtual que simula o paciente.

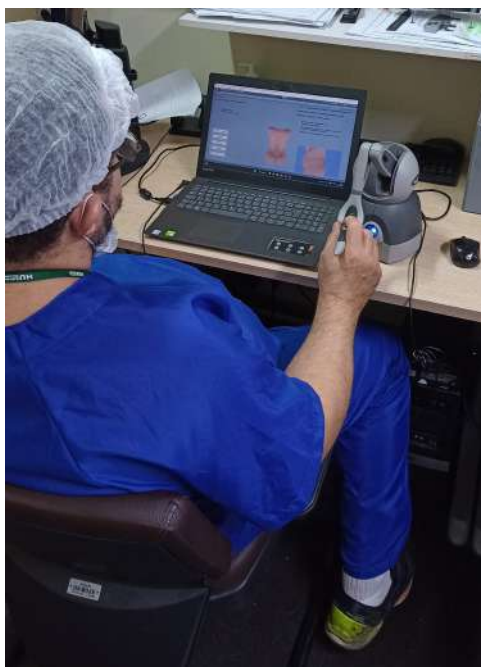


Figura 59: Montagem do ambiente de treinamento em uso durante as avaliações com especialistas na posição sugerida inicial.

Os valores configurados para as propriedades de cada camada existente no modelo 3D do tronco da paciente virtual foram os mesmos do teste de usabilidade que foram descritos na Tabela 13. A diferença para do ambiente de simulação completo usado aqui para o ambiente simplificado utilizado nos testes de usabilidade foi a inclusão da *Tag Touchable* no objeto representativo das vértebras do modelo 3D da paciente.

6.3.1 Questionário

Após a execução dos procedimentos por cada voluntário, usando o ambiente de simulação para treinamento, um questionário foi apresentado para os usuários. As respostas foram coletadas em sua maioria (questões um a dez) usando a escala *likert* (90) aceitando valores inteiros variando de 1 (Concordo fortemente) até 6 (Discordo fortemente). Esta escala foi feita de forma contrária ao questionário de usabilidade pra fazer uma comparação direta com outro simulador (40) do qual foram utilizadas algumas das perguntas feitas na avaliação deste, já que os dois simuladores possuem algumas similaridades. A décima

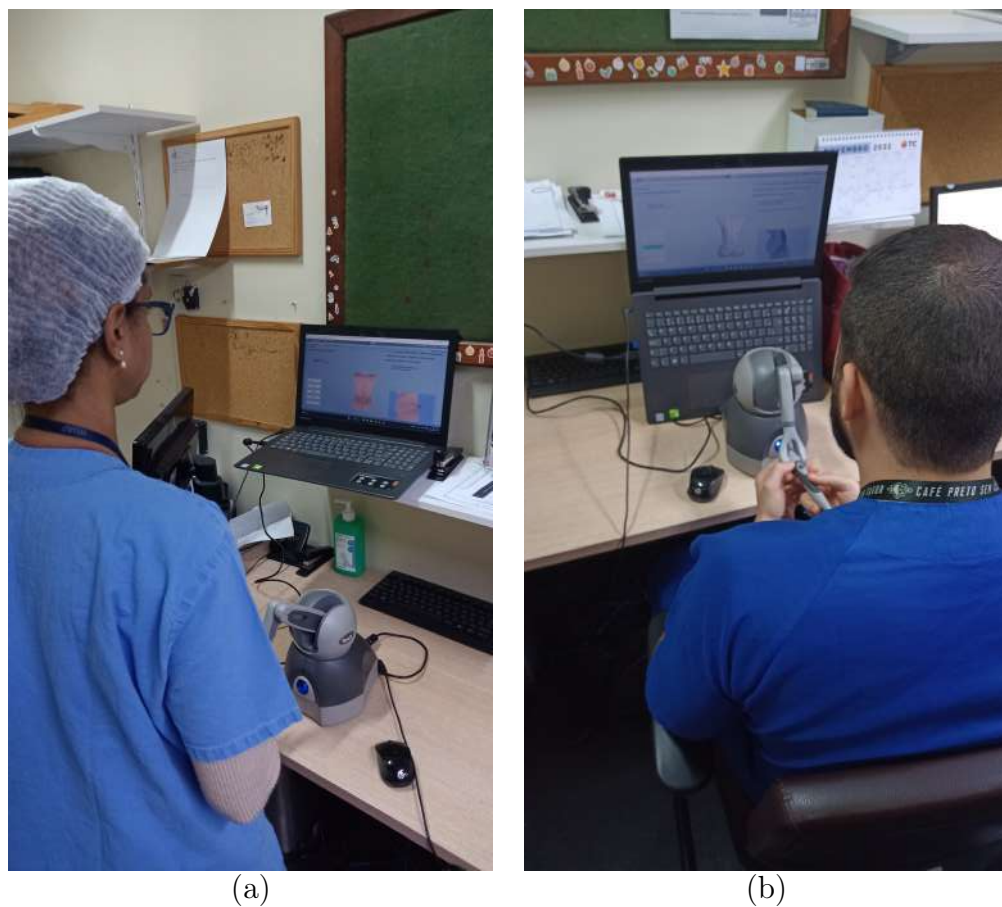


Figura 60: Montagem do ambiente de treinamento em uso durante as avaliações com especialistas com posicionamento adaptado a preferência dos voluntários: (a) Para uso em pé (b) Com dispositivo háptico a frente do computador simulando a agulha em frente ao paciente.

primeira questão foi uma tentativa de obter um retorno dos especialistas para melhorar o sistema de pontuação automático da qualidade da execução dos procedimentos. A seguir as perguntas que foram apresentadas para os voluntários.

Questão 1) A palpação para descoberta do ponto de inserção da agulha traz ganhos no treinamento da sensação háptica?

Questão 2) As opções de posicionamento da paciente (sentada e deitada) atendem as necessidades do treinamento da raquianestesia?

Questão 3) As informações sobre o procedimento no modo tutorial deixam claro como usar o simulador para atingir os objetivos nos procedimentos?

Questão 4) O *feedback* dado para o usuário durante e ao final dos procedimentos via textos explicativos é suficiente para promover uma evolução no treinamento?

Questão 5) Eu pude sentir forças diferentes nos diferentes tecidos virtuais?

Questão 6) O controle dos elementos de interação (dedo para palpação, seringa e agulha) com o dispositivo háptico foi intuitivo?

Questão 7) A exibição dos pacientes virtuais parecia realista?

Questão 8) Os diferentes ângulos de visualização e transparência ajudaram a compreender a anatomia da região lombar?

Questão 9) Após o uso desta ferramenta num treinamento eu me sentiria mais confiante para realizar anestesia raquidiana do que sem este treinamento?

Questão 10) Considero útil o treinamento neste ambiente?

Questão 11) A pontuação atribuída a cada execução de procedimento inicia de zero (0) e é somado um valor negativo para cada ação executada erradamente ou não executada e somado um valor positivo para cada ação executada corretamente. A seguir a tabela para cada ação. Na sequência, foram colocados os dados da Tabela 9 e foram informadas as seguintes características da pontuação:

A avaliação de desempenho através de pontuação de etapas tem como características:

- Pontuação máxima = 10
- Pontuação mínima = -9
- Média das notas para desempenho satisfatório = 6
- Número mínimo de procedimentos = 3

Na última parte da questão 11 havia a seguinte pergunta: “Você sugere uma mudança na forma de atribuição da pontuação, dando mais ou menos peso para os itens atualmente configurados ou ainda sugere a inclusão de outros itens importantes que contribuam positivamente ou negativamente na pontuação? Em caso positivo comente:”

6.3.2 Respostas

Nesta Seção é apresentada uma compilação das respostas dos participantes às perguntas do questionário. Na Tabela 16 está o comparativo das respostas dos especialistas obtidas pelo estudo feito por Färber et al. (40) e o nosso estudo. O restante das respostas ao questionário que foi apresentado para os voluntários, onde utilizou-se a mesma escala, está detalhado na Tabela 17.

Tabela 16: Comparativo das respostas às questões similares coletadas para o nosso ambiente de simulação e o simulador de Färber et al. (40), média (desvio padrão).

Ambiente de simulação desenvolvido nesta Tese (n=10)		Simulador de punção lombar de Färber (40) (n=42)	
Número da questão	Resposta	Número da questão	Resposta
5	2,8 (1,7)	2	1,5 (0,7)
6	2,7 (1,3)	3	2,2 (1,1)
7	3,3 (1,3)	5	2,0 (1,1)
8	3,2 (1,4)	6	1,6 (0,7)
9	3,9 (1,5)	7	1,9 (1,1)
10	2,3 (1,2)	8	1,5 (0,7)

Tabela 17: Média e desvio padrão das demais respostas ao questionário apresentado aos especialistas em relação ao ambiente de simulação desenvolvido nesta tese.

Número da questão	Média	Desvio padrão
1	2,6	1,2
2	1,9	1,4
3	2,3	1,4
4	2,5	1,3

A maioria dos especialistas fez comentários sobre possíveis melhorias para o ambiente de simulação no lugar de responder textualmente a questão 11. A única resposta a respeito de melhoria na pontuação foi a de aumentar o peso negativo do item “Avanço com a seringa até camadas indevidas (ex. ossos, espaço epidural)”. Seguem a lista de comentários dos especialistas que foram feitos de forma oral:

- Inclusão da informação a respeito da angulação da agulha a cada instante;
- É necessário melhorar a curvatura do corpo;
- A visibilidade da agulha fica ruim em alguns instantes e é complicado fazer o acompanhamento das duas telas (vista traseira e lateral);
- Importância do uso de óculos 3D pra melhorar a imersão;
- Dificuldade em ver a ponta da agulha;
- Falta de contraste entre agulha e paciente;
- Outros procedimentos a serem simulados: Bloqueio periférico e Acesso venoso central;

- O ideal seria que quando a agulha estivesse perfurando as camadas fosse dado um zoom na visão lateral.

6.3.3 Avaliação dos resultados

É importante ressaltar que apesar do ambiente de simulação desta tese e o simulador de punção lombar de Färber (40) possuem similaridades, o protocolo utilizado e diversas características dos testes foram consideravelmente diferente nos dois casos. A população utilizada nesta tese foi de dez médicos anestesistas em um grupo único onde cada especialista fez o uso do sistema por um tempo médio de dez minutos. Nos testes de Färber et al. (40) a população foi de quarenta e dois estudantes de anestesia divididos em dois grupos de igual tamanho. Esses estudantes usaram o simulador em dois dias distintos por aproximadamente vinte cinco minutos em cada dia para o grupo de controle e em um dia só pelo mesmo tempo para o grupo de treino. Além disso, os dois grupos, no primeiro dia, fizeram uso de um jogo para interação com uma agulha sintética usando o dispositivo háptico de forma a se familiarizarem com o dispositivo e com a configuração do ambiente de RV. Nos experimentos desta tese um tempo limitado de acesso aos médicos anestesistas foi disponibilizado para os testes do simulador. Isto foi feito nos seus tempos livres, no intervalo entre procedimentos no centro cirúrgico. O Dispositivo háptico utilizado por Färber et al. (40) foi o *Phantom Premium*® que é um dispositivo duas gerações mais avançado do que o que foi utilizado nesta tese. Este dispositivo além de ter um preço muito mais alto possui três graus de liberdade a mais, além de possibilitar a representação de forças bem maiores. Outra característica do simulador de Färber et al. (40) que encareceu a sua solução foi o uso de óculos para visualização 3D, o que certamente traz um ganho de realismo. Isto já estava mapeado por nós e inclusive foi endereçado nos comentários dos especialistas como a principal melhoria possível para o nosso ambiente de simulação, seja citando o óculos de forma direta ou indiretamente nos demais comentários a respeito da visualização.

Conforme pode ser observado pelo comparativo da Tabela 16 o simulador de Färber et al. (40) foi melhor avaliado pelos estudantes de anestesia do que o ambiente de simulação desenvolvido nesta tese foi avaliado pelos médicos anestesistas. A questão com resultados mais próximos foi a 6 que questionava se o controle dos elementos de interação com o dispositivo háptico foi intuitivo. A segunda questão com resultado mais próximo foi a questão 10 que perguntou sobre se os voluntários consideravam útil o treinamento usando o ambiente de simulação. É interessante destacar aqui que grande parte dos respondentes

comentaram sobre considerar útil o uso da ferramenta, desde que fossem feitos os ajustes sugeridos por eles (a maioria sugeriu o uso de óculos 3D para melhorar a imersão/visualização). Por motivos que já foram citados aqui os itens 5, 7, 8, 9 e 10 do questionário aplicado neste experimento sofrem grande influência do tipo de dispositivo háptico utilizado e do uso ou não do óculos para visão 3D. Isto já justificaria avaliações melhores para o simulador de punção lombar de Färber. Além disso, a tendência de aceitação de novas tecnologias é sempre maior entre os mais jovens, no caso, estudantes em teoria seriam mais suscetíveis a avaliar melhor este tipo de tecnologia do que profissionais mais experientes. O valor consideravelmente mais alto dos desvios padrões das respostas obtidas por nós demonstra que a nossa população de voluntários se demonstrou mais heterogênea. Ter um tempo maior de uso em mais de um dia favorece ainda mais essa aceitação do uso de uma nova tecnologia. Infelizmente, não foi possível reproduzir uma parte maior do protocolo usado por Färber et al. (40) por limitações de acesso aos especialistas não tendo, portanto, como minimizar esses pontos divergentes, mas entendeu-se que a comparação, ainda assim, foi válida.

Analisando a Tabela 17 é possível perceber que ela possui valores médios mais baixos do que grande parte das respostas da Tabela 16, ou seja, os itens do questionário desta tabela foram em sua maioria melhor avaliados que os demais. Nenhum item desta tabela foi avaliado por Färber et al. (40). Os itens avaliados por três destas questões não existiam no simulador deles, são eles: palpação para descoberta do ponto de inserção da agulha (questão 1), opções de posicionamento da paciente (questão 2) e o modo tutorial (questão 3). O item da questão 4 (*feedback* dado para o usuário) existe no simulador de Färber et al. (40), porém, por algum motivo, não fez parte da avaliação feita por eles. Em média, o item mais bem avaliado foi o do posicionamento da paciente seguido pelo modo tutorial. O *feedback* para o usuário e a palpação tiveram avaliações próximas.

7 Considerações Finais

O uso de um simulador no treinamento ajuda a atenuar riscos de falhas da raquianestesia relacionados a habilidades médicas não adquiridas corretamente assim como reduzir custos de laboratório e peças pra reposição de modelos físicos. Foram simulados aqui os comportamentos necessários para representar a agulha espinhal penetrando através dos vários ligamentos e tecidos do corpo. Um simulador de raquianestesia de alta fidelidade requer recursos como haver uma região das costas com a sensação de vértebras da coluna que possam ser localizadas por palpação, a capacidade de acomodar várias posições do paciente, inclinações ajustáveis de inserção da agulha e alguns outros aspectos principais. Todos estes itens citados em específico são contemplados no simulador criado aqui, que inclui um modelo 3D criado e utilizado juntamente com os parâmetros e configurações descritas nesta tese.

Nos experimentos, o objetivo foi de simular corretamente as sensações táteis essenciais da punção da agulha durante o procedimento de raquianestesia. A identificação das transições entre os tecidos foi um dos comportamentos levado em consideração, por ser imprescindível na representação do caso real e, portanto, no treinamento deste procedimento médico. A variação da resistência ao movimento da agulha em cada tecido foi outro comportamento considerado. O resultado dos experimentos mostrou que as opções de configurações presentes nas ferramentas táteis programáveis são capazes de representar esses comportamentos.

Não foram feitas avaliações do uso do ambiente de simulação desenvolvido nesta tese em relação a ergonomia, porém, foram feitas adaptações da montagem dos equipamentos nos testes com especialistas. Estas variações na montagem foram feitas por sugestão dos próprios anestesistas para que eles executassem o procedimento no ambiente de treinamento em posição similar aquela que estão acostumados a conduzir o procedimento real.

7.1 Conclusão

Nesta tese de doutorado foi criado ambiente virtual para treinamento do procedimento de raquianestesia em gestantes desde a palpação até a administração do anestésico. A solução proposta para a Questão 1 apresenta um ambiente com avaliação do desempenho dos usuários de acordo com suas sequências de execução dos procedimentos, bem como apresenta uma forma totalmente virtual para representação da palpação da coluna através do uso de um dispositivo háptico.

Dentre as contribuições deste trabalho está a reprodução virtual das principais sensações hápticas necessárias para simular a anestesia raquidiana. Foram feitos experimentos para avaliar a eficiência da simulação a partir do uso das ferramentas hápticas disponíveis. O sistema foi avaliado quanto a sua usabilidade de forma quantitativa através do método *SUS* (23) tendo como resposta a classificação de usabilidade boa. Especialistas fizeram uso do ambiente de simulação e responderam questionários de avaliação. Estes informaram considerar como útil este tipo de treinamento. Os anestesistas recomendaram algumas melhorias visando aproximar o simulador ainda mais do procedimento real e, desta forma, poder ser de fato utilizado como ferramenta de treinamento de anestesia raquidiana. Na comparação com o simulador de Färber et al. (40) as avaliações do simulador desta tese obtiveram notas inferiores, porém, como comentado na Seção 6.3.3, não foi possível reproduzir o mesmo cenário e nem o mesmo equipamento (dispositivo háptico) nos testes. É importante ressaltar que, apesar das notas menores, o simulador desta tese tem duas das características principais de simuladores de punção mais completos que o simulador de Färber et al. (40) não possui. O simulador apresentado nesta tese possibilita a palpação da coluna para escolha do ponto de inserção da agulha. Esta característica só existe em outros dois dos simuladores computacionais estudados nesta tese (nenhum destes simula a anestesia raquidiana). A outra característica é que com o modelo 3D adaptável desenvolvido nesta tese é possível a simulação de múltiplas pacientes. O simulador de Färber et al. (40) possui somente três (3) representações de pacientes.

Outra contribuição que é uma etapa fundamental para tornar a simulação mais real e adaptável a vários cenários de testes foi a construção de um modelo 3D do tronco de uma gestante de forma facilmente modificável via programação. A variabilidade de pacientes que pode ser configurada usando o modelo proposto é bastante vasta. Para uma maior reprodução do caso real no que diz respeito à espessura das principais camadas, o modelo foi alimentado por um equação genérica desenvolvida neste trabalho. Foi também descrito o passo a passo das formas de uso da *engine* da *Unity* e do *plugin* para importação do

modelo e interação deste com o háptico na simulação.

Em relação à evolução dos simuladores atualmente disponíveis para raquianestesia a contribuição desta tese envolveu a simulação virtual da palpação. Outra contribuição neste sentido foi a construção de um ambiente para treinamento de raquianestesia (e não somente um simulador). Este ambiente apresenta *feedbacks* durante e após cada procedimento. Propomos aqui uma avaliação do desempenho de cada procedimento por meio de notas bem como a avaliação combinada de todos os procedimentos feitos pelo usuário.

7.2 Limitações

Descrevemos nesta Seção as principais limitações deste trabalho. A primeira se refere ao dispositivo háptico que tivemos a oportunidade de adquirir e utilizar no desenvolvimento deste trabalho. O dispositivo é um modelo mediano, não exatamente com todos os graus de liberdade e a capacidade de reprodução das forças necessárias a uma completa representação do que seria uma movimentação da agulha. O dispositivo utilizado nesta tese não permite a simulação de forma completa de todas as restrições de movimento para representação da movimentação da agulha após a mesma ser inserida no paciente. Devido ao alto custo, não foi possível viabilizar o uso de um modelo mais avançado que possui mais graus de liberdade e possibilidade de representação de força, rotações e torções mais adequadas. Isto fez com que parte da realidade do procedimento ficasse comprometida. Em relação aos graus de liberdade de movimento, esta limitação impactou o realismo, pois quando uma agulha é inserida na pele (no procedimento real) existe uma força que impede o movimento de rotação lateral da agulha, que não é possível ser representado pelo equipamento utilizado nesta tese. Com relação à força máxima suportada pelo aparelho, o impacto no realismo aconteceu quando voluntários, ao usarem o simulador, sentiram uma resistência ao avanço da agulha ou ao toque na pele. Neste caso, a reação de alguns voluntários foi a de aumentar a força aplicada, ultrapassando o limite suportado pelo háptico. Quando esse tipo de situação ocorre, o equipamento é projetado para liberar o avanço de forma a evitar danos aos seus mecanismos (procedimento de segurança do dispositivo), o que ocasiona uma perda da imersão da sensação háptica.

Existem outras limitações relacionadas à forma como foram realizadas as pesquisas que obtiveram as respostas aos questionários na última fase dos testes realizados no Hospital Universitário Antônio Pedro (HUAP). Uma delas foi a restrição de tempo dos especialistas

para realizarem os testes. Outra foi a ausência de um grande número de voluntários residentes, ou seja, estudantes ainda em treinamento em anestesia, o que inviabilizou uma reprodução de experimento mais justa no que diz respeito a comparação que foi efetuada com o simulador desenvolvido na pesquisa de Färber et al. (40). Para viabilizar o acesso ao maior número de especialistas para avaliação do ambiente de simulação foi necessário efetuar a montagem do háptico e do laptop na secretaria do centro cirúrgico do HUAP, aproveitando o tempo dos especialistas, no intervalo entre cirurgias. O cenário ideal seria uma montagem num local reservado sem assistência, visão, ou influência de colegas no momento da simulação, como acabou acontecendo no teste de parte dos voluntários.

7.3 Trabalhos Futuros

Uma próxima etapa, idealmente, envolveria profissionais instrutores de procedimentos de raquianestesia de forma a validar a possibilidade do uso do simulador no treinamento. Isso, após um passo inicial de avaliação para inclusão de novas funcionalidades ou remodelagem de funcionalidades existentes, adequando este simulador às necessidades de treinamento. Alguns exemplos de adequações a serem feitas, mesmo sem esse contato com especialistas, poderiam envolver, por exemplo, a representação virtual do escorrimento do líquido quando a agulha fica por alguns segundos no espaço subaracnóideo e a modelagem de toda a paciente, incluindo as demais partes do corpo para um ambiente ainda mais completo em termos de imersão. Ainda visando uma representação mais fiel da realidade, a inclusão de *feedback* de dor da paciente para possíveis movimentos bruscos de objetos perfurantes no seu corpo pode ser incluída. Uma opção é usar um sintetizador de voz para este fim. A inclusão de óculos 3D (uma das principais questões trazidas na avaliação pelos especialistas) traria benefícios em relação à imersão ainda que tendo o custo deste equipamento. O uso deste tipo de equipamento é uma realidade possível em hospitais e universidades com melhor estrutura para treinamento. Em relação à generalização e aproveitamento do trabalho feito na construção do modelo 3D é possível fazer o uso deste modelo para outros tipos de procedimentos que forem efetuados na mesma área do corpo (dorso). Este foi mais um ponto levantado por diversos especialistas, falando sobre outros tipos de procedimentos onde este tipo de simulador também faria sentido.

A aplicação de técnicas para reconhecimento de engajamento por parte do usuário (82) é uma opção que poderia ser usada para alterar rumos do treinamento. Outro caminho de trabalho futuro está no uso de realidade aumentada no lugar do dispositivo háptico usando a identificação da mão e incluindo esta no ambiente virtual. Nesta abordagem,

no momento da punção, seria incluída a agulha ou seringa na mão da pessoa usando o simulador. Para tornar possível esta prática é preciso o estudo de formas de “enganar” o cérebro humano para que este perceba a resistência ao avançar da mão no ambiente virtual mesmo sem que algo físico impeça este movimento (como acontece no caso real e com a simulação com o háptico). Uma vez encontrada esta solução, a abordagem ganharia em flexibilidade e teria o custo reduzido por conta da ausência da necessidade de existência do dispositivo háptico. Um rumo que envolve tecnologias recentes para esta área seria o de modelar uma nova arquitetura do ambiente de treinamento com a integração de conceitos de internet das coisas (5).

REFERÊNCIAS

- 1 3D SYSTEMS. **3D Systems Phantom Premium**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <<https://www.3dsystems.com/haptics-devices/3d-systems-phantom-premium/features>>. Acesso em: 25 ago. 2020.
- 2 _____. **Touch Haptic Device**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <<https://www.3dsystems.com/haptics-devices/touch>>. Acesso em: 14 mar. 2021.
- 3 ADEGBOYE, M B; BOLAJI, B O; IBRAHEEM, G H. The Correlation Between Body Mass Index On The Length From Skin To Lumbar Epidural Space In Nigerian Adults. **Journal of the West African College of Surgeons**, West African College of Surgeons, v. 7, n. 1, p. 113–127, 2017. ISSN 2276-6944.
- 4 AGGARWAL, Rajesh; DARZI, Ara. Technical-Skills Training in the 21st Century. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMe068179>, Massachusetts Medical Society, v. 355, n. 25, p. 2695–2696, out. 2009. ISSN 0028-4793. DOI: [10.1056/NEJMe068179](https://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMe068179). Disponível em: <<https://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMe068179>>.
- 5 AHMAD, Shabir; MEHMOOD, Faisal; KHAN, Faheem; WHANGBO, Taeg Keun. Architecting Intelligent Smart Serious Games for Healthcare Applications: A Technical Perspective. **Sensors 2022, Vol. 22, Page 810**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 22, n. 3, p. 810, jan. 2022. ISSN 1424-8220. DOI: [10.3390/S22030810](https://www.mdpi.com/1424-8220/22/3/810/htm%20https://www.mdpi.com/1424-8220/22/3/810). Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/22/3/810/htm%20https://www.mdpi.com/1424-8220/22/3/810>>.
- 6 AHSAN-UL-HAQ, Muhammad; AMIN, Sohail; JAVAID, Shahid. Paramedian technique of spinal anesthesia in elderly patients for hip fracture surgery. **Journal of the College of Physicians and Surgeons–Pakistan : JCPSP**, v. 15, n. 3, p. 160–1, mar. 2005. ISSN 1022-386X. DOI: [03.2005/JCPSP.160161](https://doi.org/10.2005/JCPSP.160161).
- 7 AKHTAR, K. S.N.; CHEN, Alvin; STANDFIELD, N. J.; GUPTE, C. M. The role of simulation in developing surgical skills. **Current Reviews in Musculoskeletal Medicine**, Springer, v. 7, n. 2, p. 155, 2014. ISSN 19359748.

- DOI: [10.1007/S12178-014-9209-Z](https://doi.org/10.1007/S12178-014-9209-Z). Disponível em:
<[/pmc/articles/PMC4092204/%20/pmc/articles/PMC4092204/?report=abstract%20https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4092204/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4092204/)>.
- 8 ALBERT, Dietrich; HOCKEMEYER, Corduniversidade; KULCSAR, Zsuzsanna; SHORTEN, George. Competence Assessment for Spinal Anaesthesia. In: HCI and Usability for Medicine and Health Care. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, nov. 2007. p. 165–170. DOI: [10.1007/978-3-540-76805-0_14](https://doi.org/10.1007/978-3-540-76805-0_14). Disponível em:
<http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-76805-0_14>.
- 9 ALVAREZ-LOPEZ, Fernando; MAINA, Marcelo Fabián; SAIGÍ-RUBIÓ, Francesc. Use of a Low-Cost Portable 3D Virtual Reality Gesture-Mediated Simulator for Training and Learning Basic Psychomotor Skills in Minimally Invasive Surgery: Development and Content Validity Study. **Journal of Medical Internet Research**, JMIR Publications Inc., v. 22, n. 7, jul. 2020. ISSN 14388871. DOI: [10.2196/17491](https://doi.org/10.2196/17491). Disponível em:
<[/pmc/articles/PMC7388055/%20/pmc/articles/PMC7388055/?report=abstract%20https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7388055/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7388055/)>.
- 10 ANESCLIN. **Raquianestesia**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em:
<<https://www.anesclin.com.br/servicos/raquianestesia/>>. Acesso em: 16 fev. 2021.
- 11 AUTODESK. **3ds Max Software | Autodesk**. [S. l.: s. n.]. Disponível em:
<<https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>>. Acesso em: 19 jan. 2020.
- 12 BANGORAARON; KORTUMPHILIP; MILLERJAMES. Determining what individual SUS scores mean. **Journal of Usability Studies**, Usability Professionals' Association PUB6786 Bloomingdale, IL, v. 4, p. 114–123, mai. 2009. DOI: [10.5555/2835587.2835589](https://doi.org/10.5555/2835587.2835589). Disponível em:
<<https://dl.acm.org/doi/10.5555/2835587.2835589>>.
- 13 BAPAT, Vaishali; VISHWASRAO, Sufala. Spinal Anaesthesia with Midline and Paramedian Technique in Elderly Patients Medical Science. v. 5, n. 9, p. 442–444, 2015.
- 14 BERDE, Charles; FORMANEK, Anna; KHAN, Asif; CAMELO, Carlos Rafael; KOKA, Anjali; RILEY, Bobbie L.; PADUA, Horacio. Transforaminal lumbar puncture for spinal anesthesia or novel drug administration: a technique combining

- C-arm fluoroscopy and ultrasound. **Regional Anesthesia & Pain Medicine**, BMJ Publishing Group Ltd, v. 47, n. 6, p. 380–383, jun. 2022. ISSN 1098-7339. DOI: [10.1136/RAPM-2021-103242](https://doi.org/10.1136/RAPM-2021-103242). Disponível em: <https://rapm.bmj.com/content/47/6/380%20https://rapm.bmj.com/content/47/6/380.abstract>.
- 15 BIODIGITAL INC. **BioDigital Human: Anatomy and Health Conditions in Interactive 3D**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://human.biodigital.com/signin.html>. Acesso em: 18 jan. 2021.
- 16 BLUE PHANTOM. **Lumbar Puncture and Spinal Epidural Training Model**. [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em: <http://www.bluephantom.com/product/Lumbar-Puncture-and-Spinal-Epidural.aspx>. Acesso em: 28 jul. 2018.
- 17 BOON, J; PRINSLOO, E; RAATH, Russell P. A paramedian approach for epidural block: An anatomic and radiologic description. **Regional Anesthesia and Pain Medicine**, v. 28, n. 3, p. 221–227, mai. 2003. ISSN 10987339. DOI: [10.1053/rapm.2003.50129](https://doi.org/10.1053/rapm.2003.50129).
- 18 BRAZIL, A. L. **AN EPIDURAL NERVE BLOCK SIMULATOR USING HAPTICS AND GAMIFICATION**. 2017. f. 135. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Fluminense.
- 19 BRAZIL, A. L.; CONCI, A.; CLUA, E.; BITTENCOURT, L. K.; BARUQUE, L. B. A Virtual Environment for Breast Exams Practice with Haptics and Gamification. In: SEGAIH 2017, 5TH IEEE International conference on Serious Games and Applications for Health. [S. l.: s. n.], 2017.
- 20 BRAZIL, A. L.; CONCI, A.; CLUA, E.; BITTENCOURT, L. K.; BARUQUE, L. B.; SILVA CONCI, N. da. Haptic forces and gamification on epidural anesthesia skill gain. **Entertainment Computing**, Elsevier, v. 25, p. 1–13, mar. 2018. ISSN 1875-9521. DOI: [10.1016/J.ENTCOM.2017.10.002](https://doi.org/10.1016/J.ENTCOM.2017.10.002).
- 21 BRIDWELL, Keith. **Anatomical Planes of the Body**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.spineuniverse.com/anatomy/anatomical-planes-body>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- 22 BRIEN, G.; HORLEY, R. **Simulator and Method. Patent WO2007068050**. [S. l.: s. n.], 2007.

- 23 BROOKE, John. SUS: A Retrospective. **Journal os Usability Studies**, v. 8, n. 2, p. 29–40, 2013.
- 24 BURDEA, Grigore. C. **Force and touch feedback for Virtual Reality**. New York: Wiley, 1996. p. 339. ISBN 0471021415.
- 25 BUSTI, Anthony J.; KELLOGG, Dylan. **Procedure: How to Do a Lumbar Puncture**. [S. l.: s. n.], 2015. Disponível em:
<<https://www.ebmconsult.com/articles/procedure-lumbar-puncture>>.
Acesso em: 16 fev. 2019.
- 26 CHEN, Liang-Bi; HUANG, Tian-Hsiang; SEE, Aaron Raymond; ANTONIO, Jose; CHOCO, G; CHANDRAMOHAN, Kohila. Touch, Texture and Haptic Feedback: A Review on How We Feel the World around Us. **Applied Sciences** **2022**, Vol. **12**, Page **4686**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 12, n. 9, p. 4686, mai. 2022. ISSN 2076-3417. DOI: [10.3390/AP12094686](https://doi.org/10.3390/AP12094686). Disponível em:
<<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/9/4686/htm%20https://www.mdpi.com/2076-3417/12/9/4686>>.
- 27 CLINKSCALES, C.P.; GREENFIELD, M.L.V.H.; VANARASE, M.; POLLEY, L.S. An observational study of the relationship between lumbar epidural space depth and body mass index in Michigan parturients. **International Journal of Obstetric Anesthesia**, Churchill Livingstone, v. 16, n. 4, p. 323–327, out. 2007. ISSN 0959-289X. DOI: [10.1016/J.IJOA.2007.03.015](https://doi.org/10.1016/J.IJOA.2007.03.015).
- 28 COLES, T R; JOHN, N W; GOULD, D A; CALDWELL, D G. Integrating Haptics with Augmented Reality in a Femoral Palpation and Needle Insertion Training Simulation. **IEEE Transactions on Haptics**, v. 4, n. 3, p. 199–209, 2011. ISSN 1939-1412. DOI: [10.1109/TOH.2011.32](https://doi.org/10.1109/TOH.2011.32).
- 29 COLES, T R; MEGLAN, D; JOHN, N W. The Role of Haptics in Medical Training Simulators: A Survey of the State of the Art. **IEEE Transactions on Haptics**, v. 4, n. 1, p. 51–66, jan. 2011. ISSN 1939-1412. DOI: [10.1109/TOH.2010.19](https://doi.org/10.1109/TOH.2010.19).
- 30 COLLAÇO, Elen; KIRA, Elisabeti; SALLABERRY, Lucas H.; QUEIROZ, Anna C.M.; MACHADO, Maria A.A.M.; CRIVELLO, Oswaldo; TORI, Romero. Immersion and haptic feedback impacts on dental anesthesia technical skills virtual reality training. **Journal of dental education**, J Dent Educ, v. 85, n. 4, p. 589–598, abr. 2021. ISSN 1930-7837. DOI: [10.1002/JDD.12503](https://doi.org/10.1002/JDD.12503). Disponível em:
<<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33274441/>>.

- 31 CORRÊA, Cléber G.; NUNES, Fátima L.S.; RANZINI, Edith; NAKAMURA, Ricardo; TORI, Romero. Haptic interaction for needle insertion training in medical applications: The state-of-the-art. **Medical Engineering & Physics**, Elsevier, v. 63, p. 6–25, jan. 2019. ISSN 1350-4533. DOI: [10.1016/J.MEDENGPY.2018.11.002](https://doi.org/10.1016/J.MEDENGPY.2018.11.002).
- 32 CPR SAVERS & FIRST AID SUPPLY. **Epidural Injection Simulator**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <<http://firstaid-supply.com/medical-simulators/epidural-injection.html>>. Acesso em: 2 ago. 2021.
- 33 CULBERTSON, Heather; SCHORR, Samuel B.; OKAMURA, Allison M. Haptics: The Present and Future of Artificial Touch Sensation. **Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems**, Annual Reviews, v. 1, n. 1, p. 385–409, mai. 2018. ISSN 2573-5144. DOI: [10.1146/annurev-control-060117-105043](https://doi.org/10.1146/annurev-control-060117-105043).
- 34 DREIFALDT, Ulrika; KULCSAR, Zsuzsanna; GALLAGHER, Paul. In: EUROHAPTICS conference. [S. l.: s. n.], 2006.
- 35 DUBEY, Venketesh N.; VAUGHAN, Neil; WEE, Michael Y. K.; ISAACS, Richard. Biomedical Engineering in Epidural Anaesthesia Research. In: INTECHOPEN (Ed.). **Practical Applications in Biomedical Engineering**. [S. l.]: InTech, jan. 2013. DOI: [10.5772/50764](https://doi.org/10.5772/50764).
- 36 EIJLERS, Robin; UTENS, Elisabeth M.W.J.; STAALS, Lonneke M.; DE NIJS, Pieter F.A.; BERGHMANS, Johan M.; WIJNEN, René M.H.; HILLEGERS, Manon H.J.; DIERCKX, Bram; LEGERSTEE, Jeroen S. Systematic Review and Meta-analysis of Virtual Reality in Pediatrics: Effects on Pain and Anxiety. **Anesthesia and Analgesia**, Lippincott Williams e Wilkins, v. 129, n. 5, p. 1344–1353, nov. 2019. ISSN 15267598. DOI: [10.1213/ANE.0000000000004165](https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000004165). Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31136330/>>.
- 37 ELKS, K. N.; RILEY, R. H. The Mediseus epidural simulator – does it replicate real patients? **Anaesthesia and Intensive Care**, v. 35, n. 5, p. 818, 2007.
- 38 ELMOFTY, Dalia H. Procedural Simulation and Neuraxial Anesthesia And Analgesia The Evolution of Medical Education. New York, p. 102–107, 2017.
- 39 ESCOBAR-CASTILLEJOS, David; NOGUEZ, Julieta; NERI, Luis; MAGANA, Alejandra; BENES, Bedrich. A Review of Simulators with Haptic Devices for Medical Training. **Journal of Medical Systems**, Springer US, v. 40,

- n. 4, p. 104, abr. 2016. ISSN 0148-5598. DOI: [10.1007/s10916-016-0459-8](https://doi.org/10.1007/s10916-016-0459-8).
Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10916-016-0459-8>>.
- 40 FÄRBER, M.; HOEBORN, E.; DALEK, D.; HUMMEL, F.; GERLOFF, C.; BOHN, C. A.; HANDELS, H. Training and evaluation of lumbar punctures in a VR-environment using a 6DOF haptic device. **Studies in health technology and informatics**, v. 132, p. 112–4, 2008. ISSN 0926-9630.
- 41 FÄRBER, M.; HUMMEL, F.; GERLOFF, C.; HANDELS, H. Virtual Reality Simulator for the Training of Lumbar Punctures. **Methods of Information in Medicine**, v. 48, n. 05, p. 493–501, mai. 2009. ISSN 0026-1270. DOI: [10.3414/ME0566](https://doi.org/10.3414/ME0566).
- 42 FORSSLUND, Jonas; CHAN, Sonny; SELESNICK, Joshua; SALISBURY, Kenneth; SILVA, Rebeka G; BLEVINS, Nikolas H. The effect of haptic degrees of freedom on task performance in virtual surgical environments. **Studies in health technology and informatics**, v. 184, p. 129–135, 2013. ISSN 0926-9630.
- 43 FRAZZETTO, Joan. **Haptics, robotics and prototyping in medicine 1**. [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/JoanFrazzetto/haptics-robotics-and-prototyping-in-medicine-1?nomobile=true>>. Acesso em: 2 mar. 2022.
- 44 FREEMAN, Daniel et al. Virtual reality (VR) therapy for patients with psychosis: satisfaction and side effects. **Psychological medicine**, Psychol Med, 2022. ISSN 1469-8978. DOI: [10.1017/S0033291722001167](https://doi.org/10.1017/S0033291722001167). Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35477837/>>.
- 45 GALBRAITH, Adam S.; WALLACE, Emma; DEVITT, Aiden. Examining the association of body mass index and the depth of epidural space, radiation dose exposure and fluoroscopic screening time during transforaminal nerve block injection: a retrospective cohort study. **Irish Journal of Medical Science (1971 -)**, Springer London, p. 1–8, jun. 2018. ISSN 0021-1265. DOI: [10.1007/s11845-018-1845-7](https://doi.org/10.1007/s11845-018-1845-7).
- 46 GAUMARD SCIENTIFIC. **Lumbar Puncture Trainer – GTSimulators.com**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: <<https://www.gtsimulators.com/collections/spinal-injection-trainers/products/lumbar-puncture-trainer-s411#BeginDescription>>. Acesso em: 3 set. 2022.

- 47 GEROVICH, Oleg; MARAYONG, Panadda; OKAMURA, Allison M. The effect of visual and haptic feedback on computer-assisted needle insertion. **Computer Aided Surgery**, Taylor & Francis, v. 9, n. 6, p. 243–249, jan. 2004. ISSN 1092-9088. DOI: [10.3109/10929080500190441](https://doi.org/10.3109/10929080500190441). Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/10929080500190441>.
- 48 GRANTCHAROV, Teodor P; REZNICK, Richard K. Teaching procedural skills. **BMJ (Clinical research ed.)**, British Medical Journal Publishing Group, v. 336, n. 7653, p. 1129–31, mai. 2008. ISSN 1756-1833. DOI: [10.1136/bmj.39517.686956.47](https://doi.org/10.1136/bmj.39517.686956.47).
- 49 HAMAJI, Adilson; SHINOHARA, Alberto Hajime; HAMAJI, Marcelo Waldir Mian. **Núcleo de Anestesia Regional – SAESP**. [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em: <https://www.saesp.org.br/area-restrita/cientifico/nucleos-cientificos/nucleo-de-anestesia-regional/>. Acesso em: 16 fev. 2020.
- 50 HAMM, Robert M.; KELLEY, David M.; MEDINA, Jose A.; SYED, Noreen S.; HARRIS, Geraint A.; PAPA, Frank J. Effects of using an abdominal simulator to develop palpatory competencies in 3rd year medical students. **BMC Medical Education**, BioMed Central, v. 22, n. 1, dez. 2022. ISSN 14726920. DOI: [10.1186/S12909-022-03126-Y](https://doi.org/10.1186/S12909-022-03126-Y). Disponível em: <https://pmc/articles/PMC8793257/%20/pmc/articles/PMC8793257/?report=abstract%20https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8793257/>.
- 51 HAPTICS HOUSE. **What is Haptics? – HapticsHouse.com**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://hapticshouse.com/pages/what-is-haptics>. Acesso em: 27 fev. 2020.
- 52 HAZARIKA, Rajib; CHOUDHURY, Dipika; NATH, Sangeeta; PARUA, Samit. Estimation of Skin to Subarachnoid Space Depth: An Observational Study. **Journal of Clinical and Diagnostic Research**, v. 10, n. 10, p. 6–9, 2016. ISSN 2249782X. DOI: [10.7860/JCDR/2016/21679.8755](https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/21679.8755).
- 53 HELAYEL, Pablo Escovedo; CONCEIÇÃO, Diogo Bruggemann da; MEURER, Gustavo; SWAROVSKY, Claudia; OLIVEIRA FILHO, Getúlio Rodrigues de. Avaliação da profundidade do espaço peridural com o uso do ultrassom. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, Sociedade Brasileira de Anestesiologia, v. 60, n. 4, p. 379–382, ago. 2010. ISSN 0034-7094. DOI: [10.1590/S0034-70942010000400004](https://doi.org/10.1590/S0034-70942010000400004).

- 54 HIEMENZ, L; STREDNEY, D; SCHMALBROCK, P. Development of the force-feedback model for an epidural needle insertion simulator. **Studies in health technology and informatics**, v. 50, p. 272–7, 1998. ISSN 0926-9630.
- 55 HOLTON, L L. Force models for needle insertion created from measured needle puncture data. **Studies in health technology and informatics**, v. 81, p. 180–6, 2001. ISSN 0926-9630. DOI: [10.3233/978-1-60750-925-7-180](https://doi.org/10.3233/978-1-60750-925-7-180). Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11317736>>.
- 56 HORLOCKER, Terese T.; MCGREGOR, Diana G.; MATSUSHIGE, Derek K.; SCHROEDER, Darrell R.; BESSE, Jennifer A. A retrospective review of 4767 consecutive spinal anesthetics: Central nervous system complications. **Anesthesia and Analgesia**, v. 84, n. 3, p. 578–584, mar. 1997. ISSN 00032999. DOI: [10.1097/00000539-199703000-00021](https://doi.org/10.1097/00000539-199703000-00021).
- 57 HUGHES, John F.; DAM, Andries Van; MCGUIRE, Morgan; SKLAR, David F.; FOLEY, James D.; FEINER, Steven K.; AKELEY, Kurt. **Computer Graphics: Principles and Practice (3rd Edition)**. [S. l.: s. n.], 2013. p. 1264. ISBN 9780321399526. arXiv: [1011.1669v3](https://arxiv.org/abs/1011.1669v3).
- 58 INFOESCOLA. **Raquianesthesia - Anestesia Raquidiana - Medicina - InfoEscola**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/medicina/raquianesthesia/>>. Acesso em: 23 out. 2020.
- 59 ISAACS, R; WEE, MYK; DUBEY, VN; VAUGHAN, N. A survey of trainees' perspectives on epidural training in the United Kingdom. **Global Anesthesia and Perioperative Medicine**, v. 1, n. 4, 2015. ISSN 20590512. DOI: [10.15761/GAPM.1000130](https://doi.org/10.15761/GAPM.1000130). Disponível em: <<http://oatext.com/A-survey-of-trainees-perspectives-on-epidural-training-in-the-United-Kingdom.php>>.
- 60 JEON, Seokhee; KNOERLEIN, Benjamin; HARDERS, Matthias; CHOI, Seungmoon. Haptic simulation of breast cancer palpation: A case study of haptic augmented reality. In: 2010 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. [S. l.]: IEEE, out. 2010. p. 237–238. ISBN 978-1-4244-9343-2. DOI: [10.1109/ISMAR.2010.5643585](https://doi.org/10.1109/ISMAR.2010.5643585).
- 61 KLINGENSMITH, Jon D.; KARLAPALEM, Akhila; KULASEKARA, Michaela M.; FERNANDEZ-DEL-VALLE, Maria. Spectral analysis of ultrasound radiofrequency backscatter for the identification of epicardial

- adipose tissue. <https://doi.org/10.1117/1.JMI.9.1.017001>, SPIE, v. 9, n. 1, p. 017001, jan. 2022. ISSN 2329-4302. DOI: [10.1117/1.JMI.9.1.017001](https://doi.org/10.1117/1.JMI.9.1.017001).
Disponível em: <<https://www.spiedigitallibrary.org/journals/journal-of-medical-imaging/volume-9/issue-1/017001/Spectral-analysis-of-ultrasound-radiofrequency-backscatter-for-the-identification-of/10.1117/1.JMI.9.1.017001.full%20https://www.spiedigitallibrary.org/journals/journal-of-medical-imaging/volume-9/issue-1/017001/Spectral-analysis-of-ultrasound-radiofrequency-backscatter-for-the-identification-of/10.1117/1.JMI.9.1.017001.short>>.
- 62 KONRAD, C; SCHÜPFER, G; WIETLISBACH, M; GERBER, H. Learning manual skills in anesthesiology: Is there a recommended number of cases for anesthetic procedures? **Anesthesia and analgesia**, v. 86, n. 3, p. 635–639, mar. 1998. ISSN 0003-2999.
- 63 KOPACZ, D J; NEAL, J M; POLLOCK, J E. The regional anesthesia "learning curve". What is the minimum number of epidural and spinal blocks to reach consistency? **Regional anesthesia**, v. 21, n. 3, p. 182–90, 1996. ISSN 0146-521X.
- 64 KYOTO KAGAKU. **M43E Ultrasound Compatible Lumbar Puncture/ Epidural Simulator**. [S. l.: s. n.], 2015. Disponível em: <<https://www.gtsimulators.com/products/ultrasound-lumbar-puncture-simulator-kk-m43e>>. Acesso em: 3 set. 2022.
- 65 LANGTON, J A; MEIKLEJOHN, B H. Pressure generated during insertion of lumbar epidurals. A comparison with the Portex epidural injection simulator. **Anaesthesia**, v. 45, n. 12, p. 1055–6, dez. 1990. ISSN 0003-2409. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2278329>>.
- 66 LEE, R A; ZUNDERT, T C R V van; KOESVELD, J J M van; ZUNDERT, A A J van; STOLKER, R-J; WIERINGA, P A; GATT, S P. Evaluation of the Mediseus epidural simulator. **Anaesthesia and intensive care**, v. 40, n. 2, p. 311–8, mar. 2012. ISSN 0310-057X. DOI: [10.1177/0310057X1204000215](https://doi.org/10.1177/0310057X1204000215). Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22417027>>.
- 67 LIN, Yu Ju; WANG, Hung chun. Using virtual reality to facilitate learners' creative self-efficacy and intrinsic motivation in an EFL classroom. **Education and Information Technologies** 2021 26:4, Springer, v. 26, n. 4, p. 4487–4505,

- mar. 2021. ISSN 1573-7608. DOI: [10.1007/S10639-021-10472-9](https://doi.org/10.1007/S10639-021-10472-9). Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10472-9>.
- 68 LONDERO, Claudinei. **Anestesia em obstetrícia - YouTube**. [S. l.: s. n.], fev. 2018. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Dl8ijvHVTuY&ab_channel=CLAUDINEILONDERO. Acesso em: 6 set. 2021.
- 69 LUNDIN, K.; GUDMUNDSSON, B.; YNNERMAN, A. General Proxy-Based Haptics for Volume Visualization. In: FIRST Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. [S. l.]: IEEE, 2005. p. 557–560. ISBN 0-7695-2310-2. DOI: [10.1109/WHC.2005.62](https://doi.org/10.1109/WHC.2005.62).
- 70 MAGILL, John C.; BYL, Marten F.; HINDS, Michael F.; AGASSOUNON, William; PRATT, Stephen D.; HESS, Philip E. A novel actuator for simulation of epidural anesthesia and other needle insertion procedures. **Simulation in Healthcare**, v. 5, n. 3, p. 179–184, jun. 2010. ISSN 15592332. DOI: [10.1097/SIH.0b013e3181ce761a](https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e3181ce761a). Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20651481><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC2978502>.
- 71 MASHARI, Azad; MONTEALEGRE-GALLEGOS, Mario; JEGANATHAN, Jelliffe; YEH, Lu; QUA HIANSEN, Joshua; MEINER, Massimiliano; MAHMOOD, Feroze; MATYAL, Robina. Low-cost three-dimensional printed phantom for neuraxial anesthesia training: Development and comparison to a commercial model. Edição: Rochelle E. Tractenberg. **PLOS ONE**, Public Library of Science, v. 13, n. 6, p. 1–13, jun. 2018. ISSN 1932-6203. DOI: [10.1371/journal.pone.0191664](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191664). Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0191664>.
- 72 MASTMEYER, Andre; FORTMEIER, Dirk; HANDELS, Heinz. Efficient patient modeling for visuo-haptic VR simulation using a generic patient atlas. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, Elsevier, v. 132, p. 161–175, ago. 2016. ISSN 0169-2607. DOI: [10.1016/J.CMPB.2016.04.017](https://doi.org/10.1016/J.CMPB.2016.04.017). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169260715300729>.
- 73 MAYOORAN, Zorana; WATTERSON, Leonie; WITHERS, Paul; LINE, Jason; ARNETT, Winnie; HORLEY, Ross. Mediseus Epidural: Full-Procedure Training

- Simulator for Epidural Analgesia in Labour. In: PROC. SimTecT Healthcare Simulation Conference. [S. l.: s. n.], 2006.
- 74 MCCARTHY, Sarah; JONES, Stephanie; TABOR, Alexandra; PACKHAM, Jon. Using virtual reality to help manage needle phobia in juvenile idiopathic arthritis. **Rheumatology Advances in Practice**, Oxford University Press, v. 5, Suppl 1, out. 2021. DOI: [10.1093/RAP/RKAB068.015](https://doi.org/10.1093/RAP/RKAB068.015). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35832539/>.
- 75 MCKAY, William P; ROSSER, Timothy; KRIEGLER, Stefan; MOHAMED, Adel. Epidural loss-of-resistance biomechanics: an open pilot cadaver study. **Local and regional anesthesia**, Dove Press, v. 3, p. 101–7, 2010. ISSN 1178-7112. DOI: [10.2147/LRA.S11932](https://doi.org/10.2147/LRA.S11932). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22915876/>.
- 76 MEDBROADCAST. **Spinal block - Pain - MedBroadcast.com**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <https://medbroadcast.com/channel/pain/managing-pain/spinal-block>. Acesso em: 11 fev. 2021.
- 77 MELO, Rafael H.C.; CONCI, Aura. Modeling the basic behaviors of Anesthesia Training in Relation to Puncture and Penetration Feedback. In: ANNUAL International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference. [S. l.: s. n.], 2021. p. 4128–4133. DOI: [10.1109/EMBC46164.2021.9630874](https://doi.org/10.1109/EMBC46164.2021.9630874). Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9630874>.
- 78 MELO, Rafael Heitor Correia de; CONCI, Aura; POPOVICI, Dorina; GALHARDO JR, Carlos. A proposal of general model for estimation of skin to epidural space distance on the parturient population. **Ann Anesth Pain Med**, v. 3, n. 1, 2020. Disponível em: <http://meddocsonline.org/annals-of-anesthesia-and-pain-medicine/a-proposal-of-general-model-for-estimation-of-skin-to-epidural-space-distance-on-the-parturient.html>.
- 79 MÉNDEZ, Juan Albino; TORRES, Santiago; REBOSO, José Antonio; REBOSO, Héctor. Adaptive computer control of anesthesia in humans.

- Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering**, v. 12, n. 6, p. 727–734, dez. 2009. ISSN 1025-5842. DOI: [10.1080/10255840902911528](https://doi.org/10.1080/10255840902911528).
- 80 MEYERBRÖKER, Katharina; MORINA, Nexhmedin. The use of virtual reality in assessment and treatment of anxiety and related disorders. **Clinical psychology & psychotherapy**, Clin Psychol Psychother, v. 28, n. 3, p. 466–476, mai. 2021. ISSN 1099-0879. DOI: [10.1002/PPP.2623](https://doi.org/10.1002/PPP.2623). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34097318/>.
- 81 MILLER, Ronald D. **Miller's anesthesia**. [S. l.]: Churchill Livingstone/Elsevier, 2009. p. 3312. ISBN 9781437720617.
- 82 MITSIS, Konstantinos; ZARKOGIANNI, Konstantia; KALAFATIS, Eleftherios; DALAKLEIDI, Kalliopi; JAAFAR, Amyn; MOURKOUSIS, Georgios; NIKITA, Konstantina S. A Multimodal Approach for Real Time Recognition of Engagement towards Adaptive Serious Games for Health. **Sensors (Basel, Switzerland)**, Sensors (Basel), v. 22, n. 7, abr. 2022. ISSN 1424-8220. DOI: [10.3390/S22072472](https://doi.org/10.3390/S22072472). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35408088/>.
- 83 MOO-YOUNG, Joss; WEBER, Timothy M; KAPRALOS, Bill; QUEVEDO, Alvaro; ALAM, Fahad. **Development of Unity Simulator for Epidural Insertion Training for Replacing Current Lumbar Puncture Simulators**. v. 13. [S. l.], fev. 2021. p. 9. DOI: [10.7759/cureus.13409](https://doi.org/10.7759/cureus.13409). Disponível em: <https://www.cureus.com/articles/43664-development-of-unity-simulator-for-epidural-insertion-training-for-replacing-current-lumbar-puncture-simulators>.
- 84 MOURA, Daniel Machado. **Pelve: ossos e ligamentos**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://medpri.me/upload/texto/texto-aula-986.html>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- 85 MTI LLC. **Pregnancy Weight Gain Calculator**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.calculator.net/pregnancy-weight-gain-calculator.html>. Acesso em: 4 abr. 2022.
- 86 NAEMURA, K.; SAITO, H. Needle Insertion Test by Porcine Ligamentum Flavum. In: [s. l.]: Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. p. 28–31. DOI: [10.1007/978-3-642-03906-5_9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-03906-5_9). Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-03906-5_9.

- 87 NASCO. **Life/form® Spinal Injection Simulator**. [S. l.: s. n.], 2008.
Disponível em: <<https://www.enasco.com/p/Life-form%7B%5Ctextregistered%7D-Spinal-Injection-Simulator%2BLF01036>>.
Acesso em: 28 jul. 2018.
- 88 NI, Dong; CHAN, Wing Yin; QIN, Jing; CHUI, Yim-Pan; QU, Ingrid; HO, Simon S M; HENG, Pheng-Ann. A virtual reality simulator for ultrasound-guided biopsy training. **IEEE computer graphics and applications**, v. 31, n. 2, p. 36–48, abr. 2011.
- 89 NI, Xiu; LI, Meng zhu; ZHOU, Shuang qiong; XU, Zhen dong; ZHANG, Yue qi; YU, Yi bing; SU, Jing; ZHANG, Li min; LIU, Zhi qiang. Accuro ultrasound-based system with computer-aided image interpretation compared to traditional palpation technique for neuraxial anesthesia placement in obese parturients undergoing cesarean delivery: a randomized controlled trial. **Journal of anesthesia**, J Anesth, v. 35, n. 4, p. 475–482, ago. 2021. ISSN 1438-8359. DOI: [10.1007/S00540-021-02922-Y](https://doi.org/10.1007/S00540-021-02922-Y). Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34050798/>>.
- 90 NORMAN, Geoff. Likert scales, levels of measurement and the "laws" of statistics. **Advances in health sciences education : theory and practice**, Adv Health Sci Educ Theory Pract, v. 15, n. 5, p. 625–632, dez. 2010. ISSN 1573-1677. DOI: [10.1007/S10459-010-9222-Y](https://doi.org/10.1007/S10459-010-9222-Y). Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20146096/>>.
- 91 PALMER, S K; ABRAM, S E; MAITRA, A M; COLDITZ, J H von. Distance from the skin to the lumbar epidural space in an obstetric population. **Anesthesia and analgesia**, v. 62, n. 10, p. 944–6, out. 1983. ISSN 0003-2999.
- 92 PASZKIEWICZ, Andrzej; SALACH, Mateusz; DYMORA, Pawel; BOLANOWSKI, Marek; BUDZIK, Grzegorz; KUBIAK, Przemysław. Methodology of Implementing Virtual Reality in Education for Industry 4.0. **Sustainability 2021, Vol. 13, Page 5049**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 13, n. 9, p. 5049, abr. 2021. ISSN 2071-1050. DOI: [10.3390/SU13095049](https://doi.org/10.3390/SU13095049). Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/9/5049/htm%20https://www.mdpi.com/2071-1050/13/9/5049>>.
- 93 PATEL, Sneha; ALKADRI, Sami; DRISCOLL, Mark. Development and Validation of a Mixed Reality Configuration of a Simulator for a Minimally Invasive Spine Surgery Using the Workspace of a Haptic Device and Simulator

- Users. **BioMed Research International**, Hindawi Limited, v. 2021, 2021. ISSN 23146141. DOI: [10.1155/2021/2435126](https://doi.org/10.1155/2021/2435126). Disponível em: <https://pmc/articles/PMC8741356/%20pmc/articles/PMC8741356/?report=abstract%20https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8741356/>.
- 94 PINHEIRO, Pedro. **TIPOS DE ANESTESIA - Geral, Local e Raquidiana e Peridural » MD.Saúde**. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://www.mdsaude.com/2012/11/tipos-de-anestesia.html>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- 95 POYADE, Matthieu; KARGAS, Michael; PORTELA, Victor. Haptic Plug-In For Unity3D, out. 2014. Disponível em: <http://radar.gsa.ac.uk/3575/>.
- 96 RAJ, P. Prithvi.; NOLTE, Hans.; STANTON-HICKS, Michael d'A. **Illustrated Manual of Regional Anesthesia**. [S. l.]: Springer Berlin Heidelberg, 1988. p. 96. ISBN 3540165665.
- 97 RIBEIRO, Mateus de Lara; NUNES, Fatima L.S. Breast Palpation Simulation with Haptic Feedback: Prototype and Initial Results. In: 2014 XVI Symposium on Virtual and Augmented Reality. [S. l.]: IEEE, mai. 2014. p. 268–276. ISBN 978-1-4799-4261-9. DOI: [10.1109/SVR.2014.57](https://doi.org/10.1109/SVR.2014.57).
- 98 RIBEIRO, Mateus L.; LEDERMAN, Henrique Manoel; ELIAS, Simone; NUNES, Fátima L. S. Techniques and Devices Used in Palpation Simulation with Haptic Feedback. **ACM Computing Surveys**, ACM, v. 49, n. 3, p. 1–28, out. 2016. ISSN 03600300. DOI: [10.1145/2962723](https://doi.org/10.1145/2962723).
- 99 RIMER, Elise; HUSBY, Lars Vågsholm; SOLEM, Stian. Virtual Reality Exposure Therapy for Fear of Heights: Clinicians' Attitudes Become More Positive After Trying VRET. **Frontiers in Psychology**, Frontiers Media S.A., v. 12, p. 2952, jun. 2021. ISSN 16641078. DOI: [10.3389/FPSYG.2021.671871/BIBTEX](https://doi.org/10.3389/FPSYG.2021.671871/BIBTEX).
- 100 ROTHBAUM, Barbara Olasov; ANDERSON, Page; ZIMAND, Elana; HODGES, Larry; LANG, Delia; WILSON, Jeff. Virtual Reality Exposure Therapy and Standard (in Vivo) Exposure Therapy in the Treatment of Fear of Flying. **Behavior Therapy**, Elsevier, v. 37, n. 1, p. 80–90, mar. 2006. ISSN 00057894. DOI: [10.1016/j.beth.2005.04.004](https://doi.org/10.1016/j.beth.2005.04.004).
- 101 SAJJADI, Pejman; EWAIS, Ahmed; DE TROYER, Olga. Individualization in serious games: A systematic review of the literature on the aspects of the players to adapt to. **Entertainment Computing**, Elsevier, v. 41, p. 100468, mar. 2022. ISSN 1875-9521. DOI: [10.1016/J.ENTCOM.2021.100468](https://doi.org/10.1016/J.ENTCOM.2021.100468).

- 102 SCLAVERANO, Stefano; CHEVREAU, Grégoire; VADCARD, Lucile; MOZER, Pierre; TROCCAZ, Jocelyne. BiopSym: A simulator for enhanced learning of ultrasound-guided prostate biopsy. **Studies in Health Technology and Informatics**, v. 142, p. 301–306, 2009. ISSN 09269630. DOI: [10.3233/978-1-58603-964-6-301](https://doi.org/10.3233/978-1-58603-964-6-301). arXiv: [0812.3226](https://arxiv.org/abs/0812.3226).
- 103 SENAC, Thibault; LELEVE, Arnaud; MOREAU, Richard; KRAHENBUHL, Laurent; SIGWALT, Florent; BAUERT, Christian; ROUBY, Quentin. Designing an accurate and customizable epidural anesthesia haptic simulator. In: PROCEEDINGS - IEEE International Conference on Robotics and Automation. [S. l.]: Institute of Electrical e Electronics Engineers Inc., mai. 2019. 2019-May, p. 8353–8359. ISBN 9781538660263. DOI: [10.1109/ICRA.2019.8794199](https://doi.org/10.1109/ICRA.2019.8794199).
- 104 SHARMA, Cartik; KESAVADAS, T. A haptics-based virtual environment for engineering design and manufacturing applications. In: PROCEEDINGS of the ASME Design Engineering Technical Conference. Pittsburgh: [s. n.], 2001. p. 359–365.
- 105 SHARMA, V.; SWINSON, A. K.; HUGHES, C.; MOKASHI, S.; RUSSELL, R. Effect of ethnicity and body mass index on the distance from skin to lumbar epidural space in parturients. **Anaesthesia**, John Wiley & Sons, Ltd (10.1111), v. 66, n. 10, p. 907–912, out. 2011. ISSN 00032409. DOI: [10.1111/j.1365-2044.2011.06812.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2011.06812.x).
- 106 SILVA, Lêda Lima da; PANTOJA, Geovanna Mourão; CUNHA, Alyne Condurú dos Santos; TEMBRA, Alan Luz; PANTOJA, Mauro de Souza; BARROS, Charles Alberto Villacorta de. Modelos de treinamento em anestesia: uma revisão sistemática. **Pará Research Medical Journal**, Editora Cubo Multimidia, v. 1, n. 4, set. 2018. DOI: [10.4322/prmj.2017.034](https://doi.org/10.4322/prmj.2017.034).
- 107 SIMULAB CORPORATION. **Lumbar Epidural Trainer**. [S. l.: s. n.], 2008. Disponível em: <https://simulab.com/collections/anesthesia/products/lumbar-epidural-trainer>>. Acesso em: 28 jul. 2021.
- 108 SMITH, Brett. **How Haptic Sensors are Changing the Automotive Industry**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em:

- <<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=15658>>. Acesso em: 3 mar. 2020.
- 109 SMITH, T S; JOHANSSON, H E; SADLER, C. Trials of labour: can simulation make a difference to obstetric anaesthetic training? **Curr Anaes Crit Care**, v. 16, p. 289–296, 2005.
- 110 SOCIETY, Virtual Reality. **VRS - Latest Virtual Reality News Headset Reviews**. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <<https://www.vrs.org.uk/>>. Acesso em: 1 abr. 2022.
- 111 _____. **VRS - The Novint Falcon Haptic System - Virtual Reality Society**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <<https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-gear/haptic/novint-falcon.html>>. Acesso em: 25 ago. 2020.
- 112 SOLANKI, Mitan; RAJA, Vinesh. Modelling palpable masses for a virtual breast examination. In: PROCEEDINGS of the 9th ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry - VRCAI '10. New York, New York, USA: ACM Press, 2010. p. 221. ISBN 9781450304597. DOI: [10.1145/1900179.1900226](https://doi.org/10.1145/1900179.1900226). Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1900179.1900226>>.
- 113 SOLIMAN, Maged; PESYRIDIS, Apostolos; DALAYMANI-ZAD, Damon; GRONFULA, Mohammed; KOURMPETIS, Miltiadis. The Application of Virtual Reality in Engineering Education. **Applied Sciences** **2021**, Vol. 11, Page **2879**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 11, n. 6, p. 2879, mar. 2021. ISSN 2076-3417. DOI: [10.3390/APP11062879](https://doi.org/10.3390/APP11062879). Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/11/6/2879/htm%20https://www.mdpi.com/2076-3417/11/6/2879>>.
- 114 SONI, Nilam J. et al. Recommendations on the Use of Ultrasound Guidance for Adult Lumbar Puncture: A Position Statement of the Society of Hospital Medicine. **Journal of hospital medicine**, J Hosp Med, v. 14, n. 10, p. 591–601, 2019. ISSN 1553-5606. DOI: [10.12788/JHM.3197](https://doi.org/10.12788/JHM.3197). Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31251163/>>.
- 115 SRINIVASAN, Mandayam A; KIM, Hyun; MUNIYANDI, Manivannan; BASDOGAN, Cagatay; DE, Suvranu; KIM, Jung. Haptics in Minimally Invasive Surgical Simulation and Training. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 24, n. 2, p. 56–64, 2004. ISSN 0272-1716.

- 116 STREDNEY, D; SESSANNA, D; MCDONALD, J S; HIEMENZ, L; ROSENBERG, L B. A virtual simulation environment for learning epidural anesthesia. **Studies in health technology and informatics**, v. 29, p. 164–75, 1996. ISSN 0926-9630.
- 117 TRAN, D.; KING-WEI HOR, King-Wei; KAMANI, A.A.; LESSOWAY, V.A.; ROHLING, R.N. Instrumentation of the Loss-of-Resistance Technique for Epidural Needle Insertion. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 56, n. 3, p. 820–827, mar. 2009. ISSN 0018-9294. DOI: [10.1109/TBME.2008.2011475](https://doi.org/10.1109/TBME.2008.2011475). Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19174346>%20http://ieeexplore.ieee.org/document/4760227/>.
- 118 UDANI, Ankeet D; KIM, T Edward; HOWARD, Steven K; MARIANO, Edward R. Simulation in teaching regional anesthesia: current perspectives. **Local and regional anesthesia**, Dove Press, v. 8, p. 33–43, 2015. ISSN 1178-7112. DOI: [10.2147/LRA.S68223](https://doi.org/10.2147/LRA.S68223).
- 119 ULLRICH, Sebastian; KUHLEN, Torsten. Haptic palpation for medical simulation in virtual environments. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 18, n. 4, p. 617–625, 2012. ISSN 10772626. DOI: [10.1109/TVCG.2012.46](https://doi.org/10.1109/TVCG.2012.46).
- 120 UNITY TECHNOLOGIES. **Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D VR & AR Engine**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <<https://unity.com/>>. Acesso em: 18 fev. 2022.
- 121 VAUGHAN, Neil; DUBEY, Venketesh N.; WEE, Michael Y. K.; ISAACS, Richard. Haptic Interface on Measured Data for Epidural Simulation. In: VOLUME 2: 32nd Computers and Information in Engineering Conference, Parts A and B. [S. l.]: ASME, ago. 2012. p. 13–17. ISBN 978-0-7918-4501-1. DOI: [10.1115/DETC2012-70891](https://doi.org/10.1115/DETC2012-70891).
- 122 _____. A review of epidural simulators: Where are we today? **Medical Engineering & Physics**, Elsevier, v. 35, n. 9, p. 1235–1250, set. 2013. ISSN 13504533. DOI: [10.1016/j.medengphy.2013.03.003](https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2013.03.003).
- 123 VIDAL, F P; JOHN, N W; HEALEY, A E; GOULD, D A. Simulation of ultrasound guided needle puncture using patient specific data with 3D textures and volume haptics. en. **Computer Animation and Virtual Worlds**, v. 19, n. 2, p. 111–127, mai. 2008. ISSN 1546-427X. DOI: [10.1002/cav.217](https://doi.org/10.1002/cav.217).

- 124 VRILLON, Agathe; GONZALES-MARABAL, Laurent; CECCALDI, Pierre François; PLAISANCE, Patrick; DESRENTES, Eric; PAQUET, Claire; DUMURGIER, Julien. Using virtual reality in lumbar puncture training improves students learning experience. **BMC Medical Education**, BioMed Central Ltd, v. 22, n. 1, p. 1–8, dez. 2022. ISSN 14726920. DOI: [10.1186/S12909-022-03317-7/TABLES/3](https://doi.org/10.1186/S12909-022-03317-7/TABLES/3). Disponível em: <<https://bmcmmededuc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12909-022-03317-7>>.
- 125 WANTMAN, A; HANCOX, N; HOWELL, P R. Techniques for identifying the epidural space: a survey of practice amongst anaesthetists in the UK. **Anaesthesia**, v. 61, n. 4, p. 370–375, abr. 2006. ISSN 0003-2409. DOI: [10.1111/j.1365-2044.2006.04534.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2006.04534.x).
- 126 WATTERSON, L M; HYDE, S; BAJENOV, S; KENNEDY, S E. The training environment of junior anaesthetic registrars learning epidural labour analgesia in Australian teaching hospitals. **Anaesthesia and intensive care**, v. 35, n. 1, p. 38–45, fev. 2007.
- 127 WIKIPEDIA. **Epidural administration**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Epidural_administration>. Acesso em: 17 fev. 2020.
- 128 WILLIS, Ross E.; GOMEZ, Pedro Pablo; IVATURY, Srinivas J.; MITRA, Hari S.; VAN SICKLE, Kent R. Virtual reality simulators: valuable surgical skills trainers or video games? **Journal of surgical education**, J Surg Educ, v. 71, n. 3, p. 426–433, 2014. ISSN 1878-7452. DOI: [10.1016/J.JSURG.2013.11.003](https://doi.org/10.1016/J.JSURG.2013.11.003). Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24797861/>>.
- 129 WILSON, J. G.; PALLOTTA, O. J.; REYNOLDS, K. J.; OWEN, H. An epidural injection simulator. In: WORLD Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering. Sydney: [s. n.], 2003.
- 130 YANTRIC INC. **Yantric, Inc. - Products**. [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em: <<http://www.yantric.com/products.html#episim>>. Acesso em: 2 ago. 2021.
- 131 YUNOKI, Kazuma; SAKAI, Tetsuro. The role of simulation training in anesthesiology resident education. **Journal of anesthesia**, J Anesth, v. 32, n. 3, p. 425–433, jun. 2018. ISSN 1438-8359. DOI: [10.1007/S00540-018-2483-Y](https://doi.org/10.1007/S00540-018-2483-Y). Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29523995/>>.

- 132 ZIMMER, Anja; WANG, Nan; IBACH, Merle K.; FEHLMANN, Bernhard; SCHICKTANZ, Nathalie S.; BENTZ, Dorothée; MICHAEL, Tanja; PAPASSOTIROPOULOS, Andreas; QUERVAIN, Dominique J.F. de. Effectiveness of a smartphone-based, augmented reality exposure app to reduce fear of spiders in real-life: A randomized controlled trial. **Journal of Anxiety Disorders**, Elsevier Ltd, v. 82, ago. 2021. ISSN 18737897. DOI: [10.1016/J.JANXDIS.2021.102442](https://doi.org/10.1016/J.JANXDIS.2021.102442). Disponível em: <https://www.sciencedaily.com/releases/2021/09/210920100907.htm>.
- 133 ZURAWSKI, Richard. **The industrial information technology handbook**. [S. l.]: CRC Press, 2005. ISBN 9781420036336.

APÊNDICE A - Projeto aprovado no comitê de ética via plataforma Brasil

Projeto de Pesquisa:

Condução de entrevistas e aplicação de questionários a respeito do uso de ferramentas de Realidade Virtual no auxílio ao aprendizado de procedimentos médicos através de simulações baseadas em bancos de dados

Informações Preliminares**Responsável Principal**

CPF/Documento: [REDACTED]	Nome: Rafael Melo
Telefone: [REDACTED]	E-mail: rhcmelo@id.uff.br

Instituição Proponente

CNPJ:	Nome da Instituição: Instituto de Computação da Universidade Federal Fluminense
-------	---

É um estudo internacional? Sim

Assistentes

CPF/Documento	Nome
[REDACTED]	Aura Conci

Equipe de Pesquisa

CPF/Documento	Nome
[REDACTED]	Aura Conci

Área de Estudo**Grandes Áreas do Conhecimento (CNPq)**

- Grande Área 1. Ciências Exatas e da Terra

Título Público da Pesquisa: Estudo do uso de ferramentas de Realidade Virtual no auxílio ao aprendizado de procedimentos médicos com simulações baseadas em bancos de dados**Contato Público**

CPF/Documento	Nome	Telefone	E-mail
[REDACTED]	Aura Conci	[REDACTED]	aconci@ic.uff.br

Contato Científico: Rafael Melo

Desenho:

Anestesias são usadas em diversos procedimentos cirúrgicos na medicina tradicional. No estudo feito em (KOPACZ, NEAL, and POLLOCK 1996) os autores chegaram à conclusão através de estudos de que são necessários 44 +/- 6 procedimentos para que os médicos dominem a técnica da anestesia raquidiana.

O uso de simuladores para adquirir certo grau de habilidade antes de iniciar o procedimento em pacientes minimiza os riscos tanto para o aprendiz quanto para o paciente. O uso de simuladores com diversos cenários padroniza o ensino e possibilita ao aprendiz ter experiência com situações que poderiam não acontecer com testes onde o ensino é feito somente diretamente em pacientes (UDANI et al. 2015).

A padronização do ensino com o uso do simulador se refere ao sentido que o ensino baseado em pacientes reais é variável e dependente dos pacientes que são atendidos para cada turma executar os procedimentos. No caso do uso de um simulador isto pode ser padronizado fazendo com que todos os aprendizes tenham acesso a uma gama de pacientes virtuais representativa do todo que seja interessante no treinamento.

Pretende-se desenvolver um simulador com técnicas de realidade virtual e dispositivo háptico para punção raquidiana. Este simulador será testado quanto a sua semelhança com a atividade real de anestesia com participantes acostumados ou não com o uso de simuladores. O retorno destes participantes será utilizado para efetuação de correções no simulador e possivelmente para o desenvolvimento de melhorias.

Esta é uma pesquisa qualitativa exploratória. Por este motivo, o cálculo amostral ocorre conforme a viabilidade de recursos como tempo, financeiro e humano. Além disso, os métodos qualitativos privilegiam o estudo em profundidade. Neste sentido, trabalha-se com um foco restrito, preciso e nítido de investigação com o uso de pequenas amostras (PRATES and LEITÃO, 2017). A amostra de conveniência do estudo envolverá 30 participantes que serão convidados para participar dos estudos. Estes estudos serão efetuados em duas etapas. Numa primeira etapa com uma versão inicial do simulador desenvolvido e numa segunda etapa com uma nova versão desenvolvida contemplando ajustes associados às observações dos participantes na primeira etapa.

As duas etapas ocorrerão em ambiente controlado (utilizando o espaço do instituto, sob liberação da direção). Nestas etapas será utilizada a modalidade observacional. Os participantes serão expostos a uma seção de tutoria sobre o uso da ferramenta de simulação. Após esta fase o participante executará procedimentos em pacientes virtuais. Ao final responderá há um questionário online a respeito do simulador, sua adequabilidade, pontos fortes, fracos e de possível melhoria.

As respostas dos participantes para a segunda etapa irão esclarecer se as questões levantadas na primeira etapa foram úteis para a melhoria de qualidade da ferramenta de simulação.

Apoio Financeiro

CNPJ	Nome	E-mail	Telefone	Tipo
				Financiamento Próprio

Palavra Chave

Palavra-chave
realidade virtual
simulador

Resumo:

As anestésias raquidianas são procedimentos cegos que dependem da percepção do médico no decorrer da inserção da agulha para correta identificação do local de aplicação do líquido anestésico. Novos anestesiologistas são treinados, em sua maioria, a partir de observações ao vivo da aplicação das técnicas por anestesiologistas experientes. Em grande parte dos centros de treinamento a primeira experiência tátil do médico em treino tende a ser praticada em pacientes reais. Esta prática, apesar de ser efetuada sob supervisão direta, pode trazer riscos para estes pacientes e possíveis inseguranças aos aprendizes. Técnicas alternativas de uso de fantasmas e cadáveres no treinamento oferecem uma pequena representatividade em relação às variações de pacientes reais. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um ambiente virtual para simulação de todo o procedimento que envolve anestésias raquidianas. Propõem-se considerar desde o procedimento de punção com retorno tátil e visual usando técnicas de auto-treinamento. As sensações táteis do médico em treinamento são simuladas no protótipo através da integração com dispositivo háptico. A visualização dinâmica de diferentes modelos de corpos de pacientes se baseia em dados de altura e peso dos pacientes virtuais.

Introdução:

Nas anestésias raquidianas, os anestesiologistas dependem das suas percepções táteis durante a inserção da agulha no paciente para a correta identificação do local de aplicação do líquido anestésico. Para que o anestesiologista reconheça que a agulha está posicionada corretamente nestes locais ele precisa reconhecer os tecidos ultrapassados por ela. A principal abordagem de treinamento para técnicas de anestesia mais usada atualmente no Brasil envolve a observação da aplicação das técnicas por anestesiologistas experientes. Estes orientam verbalmente os aprendizes conforme cada um dos passos é executado. Adicionalmente, são usados: desenhos 2D, o procedimento é ensinado em cadáveres, são apresentados vídeos de procedimentos, e visualização 3D. No que diz respeito ao treinamento das sensações táteis além do treinamento em cadáveres alguns simuladores fazem uso de "bonecos" com tecidos artificiais (fantomas) que simulam pacientes (DREIFALDT et al., 2006). Um ponto negativo importante no uso de fantasmas e de cadáveres é a baixa representatividade em relação à situação real, pois estes oferecem uma baixa variabilidade de cenários (pacientes) para treinamento. Outro aspecto importante no uso de fantasmas é a necessidade de reposição de peças que se desgastam com o uso e podem ter custos altos. Estes são alguns dos motivos para que em diversos hospitais a primeira experiência do anestesiologista em treinamento seja efetuada diretamente em um paciente. O uso de simuladores para adquirir certo grau de habilidade antes de iniciar o procedimento em pacientes minimiza os riscos tanto para o aprendiz quanto para o paciente. O uso de simuladores com diversos cenários melhora o ensino e possibilita ao aprendiz ter experiência com situações mais variadas.

Hipótese:

Com o parecer sobre o simulador desenvolvido de participantes da área médica e também de participantes acostumados ao uso de simuladores espera-se obter informações que possibilitem a melhoria da qualidade da ferramenta de simulação de anestesia.

Objetivo Primário:

Contribuir com o treinamento da técnica de anestesia raquidiana para novos anestesiologistas e anestesiologistas que estão há um período grande sem executar esta técnica. Para tal será desenvolvida uma ferramenta de simulação usando técnicas de realidade virtual e dispositivos hápticos. Este simulador será então disponibilizado para uso pela comunidade visando obtenção de opiniões sobre o mesmo. Para alcançar-se o objetivo principal deste projeto, outros objetivos específicos deverão ser atingidos primeiramente. São eles: 1) Possibilitar variações das situações possíveis de ocorrer em relação às características físicas dos pacientes virtuais; 2) Desenvolver modelagens que mapeiam as características físicas na visualização; 3) Possibilitar visualização dos tecidos no momento da anestesia para auxílio no aprendizado inicial (podendo envolver mapeamento de texturas e registro de imagens médicas visando aumento do realismo); 4) Utilizar técnicas de realidade virtual na representação da paciente e dos equipamentos usados no procedimento em ambiente 3D interativo; 5) Empregar dispositivos hápticos como meio de interação para simular os sentimentos táteis do médico (de forma semelhante ao procedimento real em treinamento).

Metodologia Proposta:

Os convites aos participantes para esta pesquisa serão feitos sob indicação da rede de contatos dos pesquisadores responsáveis por esta pesquisa. Em especial da profa. Dra. Aura Conci que possui vários anos de pesquisa e projetos com a área médica da UFF. Também serão acionados participantes indicados por estes contatos diretos (em especial no que se refere a estudantes de anestesia, a serem indicados por médicos). Sendo os participantes convidados de forma assíncrona através de e-mail ou via aplicativo Whatsapp.

As atividades a seguir serão executadas em duas etapas com versões distintas da ferramenta de simulação. Na primeira etapa com uma primeira versão da ferramenta de simulação e numa segunda etapa, numa nova versão com ajustes a partir do retorno dos participantes da primeira etapa. Exposição dos participantes a uma seção de tutoria sobre o uso da ferramenta de simulação durante 30 minutos pessoalmente ou por vídeo. Uso da ferramenta de simulação para execução de 6 procedimentos de anestesia raquidiana em pacientes virtuais com distintas características físicas. Os participantes serão convidados a participar do estudo e os procedimentos necessários para tal ação ser-lhe-ão esclarecidos de forma clara e simples. Caso concorde em participar do estudo, o participante assinará o TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIMENTO (TCLE). Posteriormente será encaminhado à sala onde ele passará pela tutoria. Após esta fase o participante executará 6 procedimentos em pacientes virtuais. Estes seis procedimentos serão distribuídos de forma aos participantes terem a experiência com diferentes características corporais, em relação ao IMC, sendo efetuados em dois pacientes mais obesos, dois com IMC médio e dois com IMC baixo. Estimasse para execução destes 6 procedimentos um tempo entre 30 e 60 minutos.

Ao final os participantes responderão há um questionário online a respeito do simulador, sua adequabilidade, pontos fortes, fracos e de possível melhoria. Para resposta ao questionário estimasse um tempo de 5 minutos. Este questionário possui 7 questões para identificação do perfil do participante e outras 11 questões (6 destas sendo discursivas) que identificam a experiência com o uso do simulador.

Critério de Inclusão:

1) Idade igual ou superior a 18 anos. 2) Participantes de ambos os sexos. 3) Profissionais anestesiologistas do HUAP. 4) Alunos de anestesia da UFF. 5) Alunos do Instituto de computação da UFF que possuem alguma experiência com o uso de simuladores e/ou alguma ferramenta de realidade virtual.

Critério de Exclusão:

1) Participantes com deficiência que impeça a movimentação de ambos os membros superiores.
2) Participantes com deficiência visual.

Riscos:

Devido à natureza da pesquisa, os riscos para os participantes que apenas testam o simulador e fornecem opinião sobre o mesmo estão relacionados a possibilidade de vazamento das suas opiniões sobre o simulador. Nenhum dado de identificação será incluído fora

do contexto da equipe de pesquisa deste projeto. Não será permitido em nenhum momento acesso de dados de identificação (nome/email) do participante a pessoas fora do grupo envolvido neste projeto. Mesmo assim, o participante receberá toda orientação pela equipe executora da pesquisa quanto ao uso dos dados adquiridos. Caráter confidencial: Toda a equipe da pesquisa se compromete a manter sigilo sobre as informações obtidas através dos questionários respondidos digitalmente. Estes serão armazenados em bancos de dados com controle de acesso somente aos responsáveis pela pesquisa. Nem o nome e nem nenhuma outra informação pessoal dos participantes não serão de forma alguma divulgados e tornados disponível fora do escopo desta pesquisa. Todos os alunos recrutados para participação desta pesquisa (alunos de anestesia do HUAP e alunos do instituto de computação) poderão se recusar a participar do estudo sem que isto afete em qualquer aspecto a sua vida universitária. Esta recusa não acarretará penalização por parte dos pesquisadores no andamento do seu curso e disciplinas.

Benefícios:

Possibilidade de vir a se construir uma ferramenta de simulação da prática de anestesia raquidiana adequada a realidade brasileira. Este simulador poderá então ser utilizado de forma complementar ao ensino das técnicas de anestesia a novos alunos bem como para relembrar anestesistas que há tempo não realizam esta técnica. Esta prática é comum em todo o mundo e portando com alguns ajustes poderá ser também disponibilizada para uso pela comunidade internacional.

Metodologia de Análise de Dados:

O número de indivíduos estimados para participar dos testes será de 30 pessoas (amostra de conveniência conforme descrito anteriormente). O intervalo do erro estatístico para estudos de mesmas características fica bem pequeno próximo a esse valor (KROMER, 2015). Será adquirido o maior número possível de respostas dos questionários por anestesistas do HUAP, estudantes de anestesia da UFF e, também, da comunidade de alunos de computação da UFF que possui familiaridade com o uso de simuladores. Essas respostas serão classificadas e priorizadas de acordo com critérios de Pareto para decisão de escolha dos pontos mais importantes a serem ajustados. Gerando uma segunda versão do sistema. Por fim será feita uma nova passagem do questionário após os participantes terem acesso a nova versão do simulador já alterada seguindo as sugestões obtidas com a primeira versão.

Desfecho Primário:

Com base nos estudos de trabalhos anteriores no desenvolvimento de simuladores similares, a suspeita é de que a resposta dos participantes poderá contribuir para a melhoria e adequação do simulador a realidade dos anestesistas fazendo este ser de mais fácil uso e que contemple todas as características de um procedimento real.

Tamanho da Amostra no Brasil: 30

Países de Recrutamento

País de Origem do Estudo	País	Nº de participantes da pesquisa
Sim	BRASIL	30

Outras Informações

Haverá uso de fontes secundárias de dados (prontuários, dados demográficos, etc)?

Não

Informe o número de indivíduos abordados pessoalmente, recrutados, ou que sofrerão algum tipo de intervenção neste centro de pesquisa:

30

Grupos em que serão divididos os participantes da pesquisa neste centro

ID Grupo	Nº de Indivíduos	Intervenções a serem realizadas
Alunos do IC-UFF com experiência em simuladores	15	Uso de ferramenta e resposta a questionário
Estudantes de anestesia do HUAP	10	Uso de ferramenta e resposta a questionário
Anestesistas do HUAP	5	Uso de ferramenta e resposta a questionário

O Estudo é Multicêntrico no Brasil?

Não

Propõe dispensa do TCLE?

Não

Haverá retenção de amostras para armazenamento em banco?

Não

Cronograma de Execução

Identificação da Etapa	Início (DD/MM/AAAA)	Término (DD/MM/AAAA)
Convite para participantes participarem da avaliação da segunda versão do simulador	04/05/2020	11/05/2020
Convite para participantes participarem da avaliação da versão inicial do simulador	14/02/2020	21/02/2020

Data de Submissão do Projeto: 20/12/2019	Nome do Arquivo: PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1344702.pdf	Versão do Projeto: 3
--	--	----------------------

Avaliação da versão inicial do simulador	19/02/2020	16/03/2020
Desenvolver versão inicial do simulador	02/12/2019	14/02/2020
Avaliar respostas dos questionários e implementar ajustes no simulador	02/03/2020	04/05/2020
Avaliação da segunda versão do simulador	07/05/2020	01/06/2020
Análise dos resultados	01/06/2020	30/06/2020

Orçamento Financeiro

Identificação de Orçamento	Tipo	Valor em Reais (R\$)
Lanche para participantes (p/ 30 pessoas em duas seções)	Outros	R\$ 900,00
Deslocamento para testes - HUAPxIC (p/ 15 pessoas) em duas seções (versão 1 e 2 do simulador)	Outros	R\$ 1.200,00
Total em R\$		R\$ 2.100,00

Bibliografia:

3D SYSTEMS. 3D Systems Phantom Premium. 2018. Disponível em: [/www.3dsystems.com/haptics-devices/3d-systems-phantom-premium/features](http://www.3dsystems.com/haptics-devices/3d-systems-phantom-premium/features)>. Acesso em: 25 ago. 2018. ABCMED. Raquianestesia: o que é? Quais os preparos necessários? Como é feita? Quais são as vantagens e as desvantagens? - Exames e Procedimentos - AbcMed. 2016. Disponível em: [/www.abc.med.br/p/exames-e-procedimentos/359034/raquianestesia-o-que-e-quais-os-preparos-necessarios-como-e-feita-quais-sao-as-vantagens-e-as-desvantagens.htm](http://www.abc.med.br/p/exames-e-procedimentos/359034/raquianestesia-o-que-e-quais-os-preparos-necessarios-como-e-feita-quais-sao-as-vantagens-e-as-desvantagens.htm)>. Acesso em: 22 jul. 2018. ABCMED. Como é a anestesia peridural ou epidural? - Exames e Procedimentos. 2017. Disponível em: [/www.abc.med.br/p/exames-e-procedimentos/358844/como-e-a-anestesia-peridural-ou-epidural.htm](http://www.abc.med.br/p/exames-e-procedimentos/358844/como-e-a-anestesia-peridural-ou-epidural.htm)>. Acesso em: 22 jul. 2018. ADEGBOYE, M. B.; BOLAJI, B. O.; IBRAHEEM, G. H. The Correlation Between Body Mass Index On The Length From Skin To Lumbar Epidural Space In Nigerian Adults. Journal of the West African College of Surgeons, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 113–127, 2017. AGGARWAL, R.; DARZI, A. Technical-Skills Training in the 21st Century. New England Journal of Medicine, [s. l.], v. 355, n. 25, p. 2695–2696, 2006. AHSAN-UL-HAQ, M.; AMIN, S.; JAVAID, S. Paramedian technique of spinal anesthesia in elderly patients for hip fracture surgery. Journal of the College of Physicians and Surgeons--Pakistan: JCPSP, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 160–1, 2005. ALBERT, D.; HOCKEMEYER, C.; KULCSAR, Z.; SHORTEN, G. Competence Assessment for Spinal Anaesthesia. In: HCI and Usability for Medicine and Health Care. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007. p. 165–170. ANESCLIN. Peridural. 2019. Disponível em: [/www.anesclin.com.br/peridural.html](http://www.anesclin.com.br/peridural.html)>. Acesso em: 16 fev. 2019. ASA. American Society of Anesthesiologists - Practice Advisory for the Prevention, Diagnosis, and Management of Infectious Complications Associated with Neuraxial Techniques. Anesthesiology, [s. l.]: The American Society of Anesthesiologists, 2010. BAER, E. T. Post-dural puncture bacterial meningitis. Anesthesiology, [s. l.], v. 105, n. 2, p. 381–93, 2006. BAPAT, V.; VISHWASRAO, S. Spinal Anaesthesia with Midline and Paramedian Technique in Elderly Patients Medical Science. Indian journal of applied research, [s. l.], v. 5, n. 9, p. 442–444, 2015. BLUE PHANTOM. Lumbar Puncture and Spinal Epidural Training Model. 2011. Disponível em: [/www.bluephantom.com/product/Lumbar-Puncture-and-Spinal-Epidural.aspx](http://www.bluephantom.com/product/Lumbar-Puncture-and-Spinal-Epidural.aspx)>. Acesso em: 28 jul. 2018. BOON, J.; PRINSLOO, E.; RAATH, R. P. A paramedian approach for epidural block: An anatomic and radiologic description. Regional Anesthesia and Pain Medicine, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 221–227, 2003. BRAZIL, A. L. AN EPIDURAL NERVE BLOCK SIMULATOR USING HAPTICS AND GAMIFICATION. 2017. Universidade Federal Fluminense, [s. l.], 2017. BRAZIL, A. L.; CONCI, A.; CLUA, E.; BITTENCOURT, L. K.; BARUQUE, L. B. A Virtual Environment for Breast Exams Practice with Haptics and Gamification. In: SEGAIH 2017, 5TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SERIOUS GAMES AND APPLICATIONS FOR HEALTH 2017, Anais... [s. l.: s.n.] BRAZIL, A. L.; CONCI, A.; CLUA, E.; RODRIGUEZ-HERNANDEZ, N.; BITTENCOURT, L. K.; RAMOS, R. R. Force modeling and gamification for Epidural Anesthesia training. In: 2016 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SERIOUS GAMES AND APPLICATIONS FOR HEALTH (SEGAIH) 2016, Anais... [s. l.: s.n.] BRIEN, G.; HORLEY, R. Simulator and Method. Patent WO2007068050 2007. BURDEA, G. C. Force and touch feedback for Virtual Reality. New York: Wiley, 1996. BUSTI, A. J.; KELLOGG, D. Procedure: How to Do a Lumbar Puncture. 2015. Disponível em: [/www.ebmconsult.com/articles/procedure-lumbar-puncture](http://www.ebmconsult.com/articles/procedure-lumbar-puncture)>. Acesso em: 16 fev. 2019. CLINKSCALES, C. P.; GREENFIELD, M. L. V. H.; VANARASE, M.; POLLEY, L. S. An observational study of the relationship between lumbar epidural space depth and body mass index in Michigan parturients. International Journal of Obstetric Anesthesia, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 323–327, 2007. COLES, T. R.; JOHN, N. W.; GOULD, D. A.; CALDWELL, D. G. Integrating Haptics with Augmented Reality in a Femoral Palpation and Needle Insertion Training Simulation. IEEE Transactions on Haptics, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 199–209, 2011. COLES, T. R.; MEGLAN, D.; JOHN, N. W. The Role of Haptics in Medical Training Simulators: A Survey of the State of the Art. IEEE Transactions on Haptics, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 51–66, 2011. CULBERTSON, H.; SCHORR, S. B.; OKAMURA, A. M. Haptics: The Present and Future of Artificial Touch Sensation. Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 385–409, 2018. DOGLIOTTI, A. M. Segmental peridural spinal anesthesia. The American Journal of Surgery, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 107–118, 1933. Disponível em: [/linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0002961033910417](http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0002961033910417)>. Acesso em: 27 fev. 2019. DREIFALDT, U.; KULCSAR, Z.; GALLAGHER, P. Exploring haptics as a tool to improve training of medical doctors in the procedure of spinal anaesthetics. In: EUROHAPTICS CONFERENCE 2006, Paris. Anais... Paris DUBEY, V. N.; VAUGHAN, N.; WEE, M. Y. K.; ISAACS, R. Biomedical Engineering in Epidural Anaesthesia Research. In: INTECHOPEN (Ed.). Practical Applications in Biomedical Engineering, Adriano O. Andrade, Adriano Alves Pereira, Eduardo L. M. Naves and Alcir B. Soares, IntechOpen. [s. l.]: InTech, 2013. ELKS, K. N.; RILEY, R. H. The Mediseus epidural simulator – does it replicate real patients? Anaesthesia and Intensive Care, [s. l.], v. 35, n. 5, p. 818, 2007. ELMOFTY, D. H. Procedural Simulation and Neuraxial Anesthesia And Analgesia The Evolution of Medical Education. New York, p. 102–107, 2017. ESCOBAR-CASTILLEJOS, D.; NOGUEZ, J.; NERI, L.; MAGANA, A.; BENES, B. A Review of Simulators with Haptic Devices for Medical Training. Journal of Medical Systems, [s. l.], v. 40, n. 4, p. 104, 2016. Disponível em: [/link.springer.com/10.1007/s10916-016-0459-8](http://link.springer.com/10.1007/s10916-016-0459-8)>. Acesso em: 7 jun. 2018. FÄRBER, M.; HOEBORN, E.; DALEK, D.; HUMMEL, F.; GERLOFF, C.; BOHN, C. A.; HANDELS, H. Training and evaluation of lumbar punctures in a VR-environment using a 6DOF haptic device. Studies in health technology and informatics, [s. l.], v. 132, p. 112–4, 2008. FÄRBER, M.; HUMMEL, F.; GERLOFF, C.; HANDELS, H. Virtual Reality Simulator for the Training of Lumbar Punctures. Methods of Information in Medicine, [s. l.], v. 48, n. 05, p. 493–501, 2009. FORSSLUND, J.; CHAN, S.; SELESNICK, J.; SALISBURY, K.; SILVA, R. G.; BLEVINS, N. H. The effect of haptic degrees of freedom on task performance in virtual surgical environments. Studies in health technology and informatics, [s. l.], v. 184, p. 129–135, 2013. FRAZZETTO, J. Haptics, robotics and prototyping in medicine 1. 2011. Disponível em: [/pt.slideshare.net/JoanFrazzetto/haptics-robotics-and-prototyping-in-medicine-1?nomobile=true](http://pt.slideshare.net/JoanFrazzetto/haptics-robotics-and-prototyping-in-medicine-1?nomobile=true)>. Acesso em: 2 mar. 2019. GALBRAITH, A. S.; WALLACE, E.; DEVITT, A. Examining the association of body mass index and the depth of epidural space, radiation dose exposure and fluoroscopic screening time during transforaminal nerve block injection: a retrospective cohort study. Irish Journal of Medical Science (1971 -), [s. l.], p. 1–8, 2018. GEROVICH, O.; MARAYONG, P.; OKAMURA, A. M. The effect of visual and haptic feedback on computer-assisted needle insertion. Computer Aided Surgery, [s. l.], v. 9, n. 6, p. 243–249, 2004. Disponível em: [/www.tandfonline.com/doi/full/10](http://www.tandfonline.com/doi/full/10).

3109/10929080500190441>. Acesso em: 26 jul. 2018. GRANTCHAROV, T. P.; REZNICK, R. K. Teaching procedural skills. *BMJ (Clinical research ed.)*, [s. l.], v. 336, n. 7653, p. 1129–31, 2008. HAMAJI, A.; SHINOHARA, A. H.; HAMAJI, M. W. M. Núcleo de Anestesia Regional – SAESP. 2016. Disponível em: www.saes.org.br/area-restrita/cientifico/nucleos-cientificos/nucleo-de-anestesia-regional/. Acesso em: 16 fev. 2019. HAZARIKA, R.; CHOUDHURY, D.; NATH, S.; PARUA, S. Estimation of Skin to Subarachnoid Space Depth: An Observational Study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, [s. l.], v. 10, n. 10, p. 6–9, 2016. HELAYEL, P. E.; CONCEIÇÃO, D. B. Da; MEURER, G.; SWAROVSKY, C.; OLIVEIRA FILHO, G. R. De. Avaliação da profundidade do espaço peridural com o uso do ultrassom. *Revista Brasileira de Anestesiologia*, [s. l.], v. 60, n. 4, p. 379–382, 2010. HIEMENZ, L.; STREDNEY, D.; SCHMALBROCK, P. Development of the force-feedback model for an epidural needle insertion simulator. *Studies in health technology and informatics*, [s. l.], v. 50, p. 272–7, 1998. HOLTON, L. L. Force models for needle insertion created from measured needle puncture data. *Studies in health technology and informatics*, [s. l.], v. 81, p. 180–6, 2001. Disponível em: www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11317736. Acesso em: 27 jul. 2018. HOMSI, R. Introdução de cateter no espaço peridural!! 2018. Disponível em: www.youtube.com/watch?v=_uxv5JtyLK0. Acesso em: 11 jan. 2019. HUG. Hopitaux Universitaires de Genève - L'anesthésie péridurale. 2011. Disponível em: www.youtube.com/watch?v=tNmcWu76sFk. Acesso em: 5 mar. 2019. INFOESCOLA. Raquianestesia - Anestesia Raquidiana - Medicina - InfoEscola. 2018. Disponível em: www.infoescola.com/medicina/raquianestesia/. Acesso em: 23 out. 2018. ISAACS, R.; WEE, M.; DUBEY, V.; VAUGHAN, N. A survey of trainees' perspectives on epidural training in the United Kingdom. *Global Anesthesia and Perioperative Medicine*, [s. l.], v. 1, n. 4, 2015. Disponível em: oatext.com/A-survey-of-trainees-perspectives-on-epidural-training-in-the-United-Kingdom.php. Acesso em: 17 fev. 2019. JEON, S.; KNOERLEIN, B.; HARDERS, M.; CHOI, S. Haptic simulation of breast cancer palpation: A case study of haptic augmented reality. In: 2010 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MIXED AND AUGMENTED REALITY 2010, Anais... : IEEE, 2010. JURAN, J.M. Juran's Quality Control Handbook. 3rd Edition. New York: McGraw-Hill, 1974. KISHI, D.; VIDEIRA, R. L. da R. Description of Nosocomial Infection Prevention Practices by Anesthesiologists in a University Hospital. *Brazilian Journal of Anesthesiology*, [s. l.], v. 61, n. 2, p. 177–187, 2011. KONRAD, C.; SCHÜPFER, G.; WIETLISBACH, M.; GERBER, H. Learning manual skills in anesthesiology: Is there a recommended number of cases for anesthetic procedures? *Anesthesia and analgesia*, [s. l.], v. 86, n. 3, p. 635–639, 1998. KOPACZ, D. J.; NEAL, J. M.; POLLOCK, J. E. The regional anesthesia "learning curve". What is the minimum number of epidural and spinal blocks to reach consistency? *Regional anesthesia*, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 182–90, 1996. KROMER, T., How to Verify Your Assumptions At Small Sample Sizes. 2015. Disponível em: <https://grasshopperherder.com/how-to-verify-your-assumptions-at-small-sample-sizes/>. Acesso em 16 jul. 2019. KYOTOKAGAKU CO., L. Lumbar Puncture Simulator | Products: Patient Simulators for Diagnostic Training. 2011. Disponível em: www.kyotokagaku.com/products/detail01/m43b.html. Acesso em: 28 jul. 2018. LANGTON, J. A.; MEIKLEJOHN, B. H. Pressure generated during insertion of lumbar epidurals. A comparison with the Portex epidural injection simulator. *Anaesthesia*, [s. l.], v. 45, n. 12, p. 1055–6, 1990. Disponível em: www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2278329. Acesso em: 27 jul. 2018. LEE, R. A.; VAN ZUNDERT, T. C. R. V.; VAN KOESVELD, J. J. M.; VAN ZUNDERT, A. A. J.; STOLKER, R.-J.; WIERINGA, P. A.; GATT, S. P. Evaluation of the Mediseus epidural simulator. *Anaesthesia and intensive care*, [s. l.], v. 40, n. 2, p. 311–8, 2012. LME. Neuraxial Blocks: Epidural and Spinal Anesthesia & Analgesia – Anesthesia | Lecturio Medical Education. 2018. Disponível em: www.youtube.com/watch?v=Ko-m4kFOil. Acesso em: 11 dez. 2019. LUNDIN, K.; GUDMUNDSSON, B.; YNNERMAN, A. General Proxy-Based Haptics for Volume Visualization. In: FIRST JOINT EUROHAPTICS CONFERENCE AND SYMPOSIUM ON HAPTIC INTERFACES FOR VIRTUAL ENVIRONMENT AND TELEOPERATOR SYSTEMS 2005, Anais... : IEEE, 2005. MA, M. Serious games and edutainment applications. Berlin, Germany: Springer-Verlag London Ltd, 2011. Disponível em: eprints.hud.ac.uk/id/eprint/23165. Acesso em: 1 set. 2018. MASTMEYER, A.; WILMS, M.; FORTMEIER, D.; SCHRÖDER, J.; HANDELS, H. Real-Time Ultrasound Simulation for Training of US-Guided Needle Insertion in Breathing Virtual Patients. *Studies in Health Technology and Informatics*, [s. l.], v. 220, p. 219–226, 2016. MAYOORAN, Z.; WATTERSON, L.; WITHERS, P.; LINE, J.; ARNETT, W.; HORLEY, R. Mediseus Epidural: Full-Procedure Training Simulator for Epidural Analgesia in Labour. In: PROC. SIMTECH HEALTHCARE SIMULATION CONFERENCE 2006, Anais... [s. l. s.n.] MCKAY, W. P.; ROSSER, T.; KRIEGLER, S.; MOHAMED, A. Epidural loss-of-resistance biomechanics: an open pilot cadaver study. *Local and regional anesthesia*, [s. l.], v. 3, p. 101–7, 2010. Disponível em: www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22915876. Acesso em: 27 jul. 2018. MEDBROADCAST. Spinal block - Pain - MedBroadcast.com. 2018. Disponível em: medbroadcast.com/channel/pain/managing-pain/spinal-block. Acesso em: 11 fev. 2019. MÉNDEZ, J. A.; TORRES, S.; REBOSO, J. A.; REBOSO, H. Adaptive computer control of anesthesia in humans. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, [s. l.], v. 12, n. 6, p. 727–734, 2009. MERICQ, O.; COLOMBANI, A.; EYCHENNE, B.; BOE, M.; LARENG, L. Paramedian lumbar puncture for spinal anesthesia in the elderly. *Cahiers d'anesthesiologie*, [s. l.], v. 33, n. 8, p. 685–7, 1985. MILLER, R. D. Miller's anesthesia. [s.l.] : Churchill Livingstone/Elsevier, 2009. Resumo de: Neuraxial Anesthesia (Anesthesia Text)Spinal vs. Epidural em: https://www.openanesthesia.org/neuraxial_anesthesia_text/. NAEMURA, K.; SAITO, H. Needle Insertion Test by Porcine Ligamentum Flavum. In: [s.l.] : Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. p. 28–31. NI, D.; CHAN, W.-Y.; QIN, J.; QU, Y.; CHUI, Y.-P.; HO, S. S. M.; HENG, P.-A. An ultrasound-guided organ biopsy simulation with 6DOF haptic feedback. *Medical image computing and computer-assisted intervention: MICCAI ... International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*, [s. l.], v. 11, n. Pt 2, p. 551–559, 2008. NI, D.; CHAN, W. Y.; QIN, J.; CHUI, Y.-P.; QU, I.; HO, S. S. M.; HENG, P.-A. A virtual reality simulator for ultrasound-guided biopsy training. *IEEE computer graphics and applications*, [s. l.], v. 31, n. 2, p. 36–48, 2011. NMM. Nucleus Medical Media - Epidural & Spinal Anesthesia. 2009. Disponível em: www.youtube.com/watch?v=69s7NScxdk. Acesso em: 12 jan. 2019. NYSORA. New York School Of Regional Anesthesia - Students Educational Videos: Spinal Anesthesia. 2015. Disponível em: www.youtube.com/watch?v=Kho82Abz_Og. Acesso em: 11 jan. 2019. NYSORA. New York School Of Regional Anesthesia - Spinal and Epidural Anesthesia Archives. 2019. Disponível em: www.nysora.com/tag/spinal-and-epidural-anesthesia/. Acesso em: 11 dez. 2019. PALMER, S. K.; ABRAM, S. E.; MAITRA, A. M.; VON COLDITZ, J. H. Distance from the skin to the lumbar epidural space in an obstetric population. *Anesthesia and analgesia*, [s. l.], v. 62, n. 10, p. 944–6, 1983. PEDIAA. Difference Between Spinal and Epidural Anesthesia | Purpose, Procedure, Effect, Risks. 2016. Disponível em: pediaa.com/difference-between-spinal-and-epidural-anesthesia/. Acesso em: 11 fev. 2019. PINHEIRO, P. TIPOS DE ANESTESIA - Geral, Local e Raquidiana e Peridural» MD.Saúde. 2018. Disponível em: www.mdsaude.com/2012/11/tipos-de-anestesia.html. Acesso em: 20 jul. 2018. PRASAD, R. N. Epidural Live Technique. 2016. Disponível em: www.youtube.com/watch?v=ndYzw_ISfJA. Acesso em: 27 fev. 2019. PRATES, R. O.; LEITÃO, C. Aplicação de métodos qualitativos em computação. In *Jornadas de Atualização em Informática*, pages 43-91. Brazilian Computer Society, 2017. RIBEIRO, M. de L.; NUNES, F. L. S. Breast Palpation Simulation with Haptic Feedback: Prototype and Initial Results. In: 2014 XVI SYMPOSIUM ON VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY 2014, Anais... : IEEE, 2014. RIBEIRO, M. L.; LEDERMAN, H. M.; ELIAS, S.; NUNES, F. L. S. Techniques and Devices Used in Palpation Simulation with Haptic Feedback. *ACM Computing Surveys*, [s. l.], v. 49, n. 3, p. 1–28, 2016. SCLAVERANO, S.; CHEVREAU, G.; VADCARD, L.; MOZER, P.; TROCCAZ, J. BiopSym: A simulator for enhanced learning of ultrasound-guided prostate biopsy. *Studies in Health Technology and Informatics*, [s. l.], v. 142, p. 301–306, 2009. SEDICIAS, S. Anestesia peridural: como é feita e principais riscos - Tua Saúde. 2018. Disponível em: www.tuasade.com/anestesia-peridural/. Acesso em: 23 out. 2018. SHARMA, C.; KESAVADAS, T. A haptics-based virtual environment for engineering design and manufacturing applications. In: PROCEEDINGS OF THE ASME DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCE 2001, Pittsburgh. Anais... Pittsburgh SHARMA, V.; SWINSON, A. K.; HUGHES, C.; MOKASHI, S.; RUSSELL, R. Effect of ethnicity and body mass index on the distance from skin to lumbar epidural space in parturients. *Anaesthesia*, [s. l.], v. 66, n. 10, p. 907–912, 2011. SHIPLEY, C. Epidural Spinal Anesthesia - Animation by Dr. Cal Shipley, M.D. 2013. Disponível em: www.youtube.com/watch?v=rM1aQC-HAX0. Acesso em: 11 jan. 2019. SIMULAB CORPORATION. Lumbar Puncture/Epidural. 2008. Disponível em: www.simulab.com/products/lumbar-punctureepidural. Acesso em: 28 jul. 2018. SMITH, B. How Haptic Sensors are Changing the Automotive Industry. 2019. Disponível em: www.azom.com/article.aspx?ArticleID=15658. Acesso em: 3 mar. 2019. SMITH, T. S.; JOHANNSSON, H. E.; SADLER, C. Trials of labour: can simulation make a difference to obstetric anaesthetic training? *Curr Anaes Crit Care*, [s. l.], v. 16, p. 289–296, 2005. SOLANKI, M.; RAJA, V. Haptic based augmented reality simulator for training clinical breast

examination. In: 2010 IEEE EMBS CONFERENCE ON BIOMEDICAL ENGINEERING AND SCIENCES (IECBES) 2010, Anais... : IEEE, 2010. SRINIVASAN, M. A.; KIM, H.; MUNIYANDI, M.; BASDOGAN, C.; DE, S.; KIM, J. Haptics in Minimally Invasive Surgical Simulation and Training. IEEE Computer Graphics and Applications, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 56–64, 2004. STREDNEY, D.; SESSANNA, D.; MCDONALD, J. S.; HIEMENZ, L.; ROSENBERG, L. B. A virtual simulation environment for learning epidural anesthesia. Studies in health technology and informatics, [s. l.], v. 29, p. 164–75, 1996. THANGAMUTHU, A.; RUSSELL, I. F.; PURVA, M. Epidural failure rate using a standardised definition. International Journal of Obstetric Anesthesia, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 310–315, 2013. UDANI, A. D.; KIM, T. E.; HOWARD, S. K.; MARIANO, E. R. Simulation in teaching regional anesthesia: current perspectives. Local and regional anesthesia, [s. l.], v. 8, p. 33–43, 2015. UOFT ANESTHESIA. Anesthesia University of Toronto - Epidural Anesthesia - How to! 2017. Disponível em: /www.youtube.com/watch?v=8SRQmLkIG7s>. Acesso em: 5 mar. 2019. VARELLA, D. História da anestesia. 2011. Disponível em: /drauziovarella.uol.com.br/entrevistas-2/historia-da-anestesia/>. Acesso em: 20 jul. 2018. VAUGHAN, N.; DUBEY, V. N.; WEE, M. Y. K.; ISAACS, R. Haptic Interface on Measured Data for Epidural Simulation. In: VOLUME 2: 32ND COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE, PARTS A AND B 2012, Anais... : ASME, 2012. VAUGHAN, N.; DUBEY, V. N.; WEE, M. Y. K.; ISAACS, R. A review of epidural simulators: Where are we today? Medical Engineering & Physics, [s. l.], v. 35, n. 9, p. 1235–1250, 2013. VIDAL, F. P.; JOHN, N. W.; HEALEY, A. E.; GOULD, D. A. Simulation of ultrasound guided needle puncture using patient specific data with 3D textures and volume haptics. Computer Animation and Virtual Worlds, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 111–127, 2008. Disponível em: /onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cav.217/abstract> VRS. VIRTUAL REALITY SOCIETY - The Novint Falcon Haptic System - Virtual Reality Society. 2017. Disponível em: /www.vrs.org.uk/virtual-reality-gear/haptic/novint-falcon.html>. Acesso em: 25 ago. 2018. VRS. Virtual Reality Society - Latest Virtual Reality News Headset Reviews. 2018. Disponível em: /www.vrs.org.uk/>. Acesso em: 1 out. 2018. WANTMAN, A.; HANCOX, N.; HOWELL, P. R. Techniques for identifying the epidural space: a survey of practice amongst anaesthetists in the UK. Anaesthesia, [s. l.], v. 61, n. 4, p. 370–375, 2006. WATTERSON, L. M.; HYDE, S.; BAJENOV, S.; KENNEDY, S. E. The training environment of junior anaesthetic registrars learning epidural labour analgesia in Australian teaching hospitals. Anaesthesia and intensive care, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 38–45, 2007. WILSON, J. G.; PALLOTTA, O. J.; REYNOLDS, K. J.; OWEN, H. An epidural injection simulator. In: WORLD CONGRESS ON MEDICAL PHYSICS AND BIOMEDICAL ENGINEERING 2003, Sydney. Anais... Sydney WILSON, M. J. A. Epidural endeavour and the pressure principle. Anaesthesia, [s. l.], v. 62, n. 4, p. 319–322, 2007. YANTRIC INC. Yantric, Inc. - Products. 2011. Disponível em: /www.yantric.com/products.html#episim>. Acesso em: 2 ago. 2018. ZURAWSKI, R. The industrial information technology handbook. [s. l.] : CRC Press, 2005. Os primeiros dispositivos hápticos foram originados dos braços robóticos usados para o controle remoto de robôs.

Upload de Documentos

Arquivo Anexos:

Tipo	Arquivo
Outros	questionario_Simulador_anestesia.pdf
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_detalhado.doc
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_v6.doc
Folha de Rosto	folhaRostoRafaelAssinada.pdf
Folha de Rosto	folhaRostoRafaelAssinada.pdf
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_v3.doc
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1344702.pdf
Comprovante de Recepção	PB_COMPROVANTE_RECEPCAO_1344702.pdf
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_v4.doc
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_detalhado.doc
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Declaracao_Autorizacao_Pesquisa_Rafael_Melo.pdf
Folha de Rosto	FolhaJosehRaphael.pdf
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_v2.doc
Outros	questionario_Simulador_anestesia.pdf
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_detalhado_v3.doc
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Declaracao_Autorizacao_Pesquisa_Rafael_Melo.pdf
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1344702.pdf
Folha de Rosto	FolhaJosehRaphael.pdf
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_detalhado.doc
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_v5.doc
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_v5.doc
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_v4.doc
Declaração de Instituição e Infraestrutura	carta_anuencia_IC.pdf
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_detalhado_v2.doc
Folha de Rosto	FolhaDeRosto.pdf
Declaração de Instituição e Infraestrutura	carta_anuencia_IC.pdf
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_v2.doc

Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1344702.pdf
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_termo.doc
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.doc
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Declaracao_Autorizacao_Pesquisa_Rafael_Melo.pdf
Outros	Carta_resposta.doc
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_detalhado_v4.doc
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_detalhado_v2.doc
Folha de Rosto	FolhaJosehRaphael.pdf
Comprovante de Recepção	PB_COMPROVANTE_RECEPCAO_1344702.pdf
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_detalhado_v3.doc

Finalizar

Manter sigilo da integra do projeto de pesquisa: Não