

Simulação de palpação da mama com retorno háptico: protótipo e resultados iniciais

Breast palpation simulation with haptic feedback: prototype and initial results

Mateus de Lara Ribeiro, Fátima L. S. Nunes
Laboratório de Aplicações de Informática em Saúde (LApIS)
Escola de Artes, Ciências e Humanidades
Universidade de São Paulo
São Paulo, Brasil
{mateus.ribeiro, fatima.nunes}@usp.br

Abstract— Breast palpation, when a health professional touches the breast of a patient searching for nodules is an important screening test for the breast cancer detection. This exam consists of a main means of the early detection; however, many medical professionals do not have the suitable training to do so. This stems from the fact that exam training depends on volunteers who do not represent the real situation of the disease, or models restricted to a few cases, which do not reflect the range of characteristics of the cancer training. Because of this, this procedure has a high demand for simulators that are able to provide greater realism with low cost and flexibility. This article presents the definition and implementation of a breast palpation simulator with haptic feedback. The main contribution of this paper is to evaluate the haptic feedback provided by the simulator. Evaluation results of the tool from an experiment conducted by palpation with lay users are presented. From the results obtained, it was concluded that the simulator can generate significant learning for users with no experience in the area, with satisfactory force feedback.

Keywords—breast palpation; simulation; haptics; force feedback

Resumo: O exame de palpação da mama, no qual um médico apalpa a mama de uma paciente em busca de nódulos, consiste em um importante exame preventivo para detecção de câncer de mama. Este exame consiste em um dos principais meios de detecção precoce; no entanto, muitos profissionais de medicina não tem plena confiança em suas habilidades para fazê-lo. Isto decorre do fato de que o treinamento do exame depende de voluntários que não representam a real situação da doença, ou de modelos de treinamento restritos a poucos casos, que não refletem a gama de características do câncer. Por conta disto, este exame tem uma grande demanda por simuladores que sejam capazes de oferecer maior realismo com baixo custo e flexibilidade. Este artigo apresenta a definição e a implementação de um simulador de palpação da mama com retorno háptico. A principal contribuição deste artigo é a avaliação do retorno háptico oferecido pelo simulador. Os resultados da avaliação da ferramenta a partir de um experimento conduzido por palpação com usuários leigos são apresentados. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que o simulador pode gerar aprendizado significativo para usuários sem experiência na área, com retorno de força satisfatório.

Palavras-chaves—palpação da mama; simulação; háptico; retorno de força

I. INTRODUÇÃO

O Instituto Nacional do Câncer estimou, nos anos de 2012 e 2013, a ocorrência de aproximadamente 53 mil novos casos de câncer de mama, constituindo o segundo tipo de câncer mais incidente no sexo feminino, perdendo apenas para o câncer de pele [1].

Apesar de ser considerado um câncer de prognóstico relativamente bom se diagnosticado e tratado precocemente, as taxas de mortalidade por câncer de mama continuam elevadas no Brasil, muito provavelmente porque a doença ainda é diagnosticada em estágios avançados.

O exame de palpação de mama, que é a investigação sistemática do tecido mamário por um clínico profissional, por meio do toque, em busca de nódulos rígidos e irregulares, é uma das principais formas de exame para prevenir o câncer [2]. Consiste em um procedimento no qual o profissional da saúde pressiona uma área de interesse com seus dedos para localizar pontos abaixo da pele do paciente e sentir a presença ou ausência de características ou anormalidades anatômicas [3].

Durante a palpação, nódulos que são discretos e diferem do tecido ao redor podem ser identificados. Estes nódulos podem se movimentar dentro do tecido ou mesmo serem perceptíveis devido a alterações na pele. Descobertas mais sutis podem ser de interpretação mais complicada. Tais descobertas podem incluir áreas que não se movem ou comprimem como esperado ou que são assimétricas em relação à outra mama, como engrossamento assimétrico de tecido da mama ou leve assimetria do contorno da mama [4].

Estudos descritivos constantemente indicam que a palpação de linfonodos deve se estender acima e abaixo das clavículas e axilas (lateral, central, subescapular, peitoral), e que a palpação de linfonodos deve ser realizada enquanto a mulher está sentada [4]. Não existem estudos que examinaram

a relação entre características de palpação de linfonodos e sensibilidade ou especificidade no encontro de nódulos [4].

Estima-se que 70 a 90% dos nódulos de mama são encontrados pelo paciente, o que significa que a maioria deles é palpável. Infelizmente, os exames de palpação têm baixa sensibilidade, variando de 39 a 59% [5]. Esta falta de sensibilidade pode estar relacionada à ausência de treinamento ou a treinamentos ineficazes. Muitos médicos mostram baixa confiança em suas habilidades de exames de palpação de mama [6]. Muitos residentes, enfermeiras e médicos expressam desejos de melhorar sua competência para este exame [7].

Neste sentido, o uso de tecnologias que façam uso de Realidade Virtual (RV), em particular aplicações que dispõem de simulação com retorno háptico, podem oferecer uma forma de treinamento que agrega conhecimento de forma rápida e interativa. Também é possível citar outras razões para adotar ambientes de simulação, como questões éticas, segurança do paciente, planejamento pré-operatório e ‘aquecimento’ antes da realização de um procedimento [16].

Em [2] é exposta a dificuldade em definir de forma precisa o aspecto do toque que permite que um profissional identifique um nódulo. A complexidade que envolve a definição do retorno de força adequado impõe dificuldades para desenvolvimento de simuladores que sejam capazes de diferenciar tecidos normais e anormais, e que poderiam aumentar o aprendizado do usuário.

Arnab, Solanki & Raja [8] afirmam que os modelos baseados em silicone são limitados, por não serem capazes de emular as características das mamas, como a elasticidade da pele e o dinamismo, de maneira real. Estes modelos também são considerados restritos, por permitirem poucas modificações na sua elasticidade, fazendo com que a experiência do usuário não seja tão fiel à realidade. Além disto, os modelos são constituídos de materiais físicos que se desgastam com o uso, apresentando uma vida útil reduzida.

O desenvolvimento de sistemas virtuais que ofereçam retorno de força, possam ser modificados dinamicamente e não sofram desgastes por conta do uso, é bastante encorajado. Isto se dá pelo fato de que tais modelos podem oferecer um nível de realismo capaz de proporcionar um treinamento com maior acurácia e aprendizado por parte dos seus utilizadores.

O objetivo deste artigo é apresentar a definição, a implementação e os primeiros resultados de um simulador de palpação da mama com retorno háptico. Para cumprir este objetivo, este trabalho está organizado nas seguintes seções: a Seção II apresenta os trabalhos correlatos, a Seção III apresenta a metodologia, a Seção IV apresenta os resultados e discussões do trabalho e na Seção V são disponibilizadas as conclusões.

II. TRABALHOS CORRELATOS

A simulação de retorno háptico tem produzido resultados significativos em diversas aplicações médicas. A seguir, são apresentados alguns trabalhos que descrevem ferramentas de

treinamento de exames de palpação que oferecem simulação de retorno háptico.

A. *Virtual Haptic Back*

O *Virtual Haptic Back* (VHB) é um projeto que tem como objetivo incrementar o treinamento háptico na medicina osteopática, fisioterapia, massagem terapêutica, terapia quiroprática e áreas relacionadas. A simulação realizada envolve um modelo gráfico computadorizado de alta qualidade, implementado por meio de duas interfaces hápticas [9].

O usuário interage com o ambiente virtual por meio das interfaces hápticas em tempo real, movimentando as extremidades de dois dispositivos *Phantom Omni* para navegar ao redor do dorso humano simulado, ao mesmo tempo em que recebe retorno háptico por parte dos dispositivos [9].

O VHB também oferece um modelo háptico de camadas no qual o usuário pode sentir a pele, o tecido abaixo dela, assim como a estrutura óssea e os ligamentos. A ferramenta também oferece a possibilidade de estabelecer tipos e disfunção somática no modelo virtual, configurando diversas posições iniciais e rigidez relativas para os vários processos espinhosos. De acordo com os autores, o VHB é capaz de adicionar à arte do diagnóstico palpatório um componente da ciência mensurável e repetível.

B. *Simulador de palpação do pulso humano*

Outro trabalho na área é definido em [10], que consiste em um simulador baseado em software que realiza a palpação virtual do pulso humano, usando um paciente virtual, visualizado em um sistema de RV. O dispositivo háptico é controlado por um ou vários dedos do usuário e tanto a posição atual quanto a orientação são exibidas por uma mão virtual. Isto permite que o usuário explore a superfície cutânea de forma intuitiva, em tempo real [10].

A modelagem virtual de uma região que emite um pulso ocorre a partir da definição de uma ou várias partículas contidas nesta região, que são definidas como fontes emissoras do pulso. Usualmente, estas partículas residem dentro de uma artéria e estão próximas de um ponto da superfície, no qual o pulso pode ser sentido. Algumas das regiões típicas são: pulso da carótida (localizado no pescoço), pulso braquial (localizado entre o bíceps e o tríceps), pulso femoral (localizado na coxa), entre outras.

A partir disto, um *proxy* virtual que é ligado a um dispositivo háptico de entrada para palpação, é utilizado para detecção de colisão e contém a posição e a orientação da extremidade do dispositivo.

Outro trabalho nesta área é o de Ullrich & Kulen [17], que consistiu na implementação de um *framework* de simulação de palpação do pulso arterial, por meio do desenvolvimento de um algoritmo de interação com movimentação de tecido. Este algoritmo divide-se em outros dois: o primeiro trabalha com as forças aplicadas pelos objetos do ambiente, com a finalidade de permitir a representação de múltiplas camadas de anatomia e o segundo proporciona retorno de força, com o

objetivo de simular a pulsação arterial. É utilizado o método de elementos finitos para simulação de tecidos moles.

O dispositivo *Phantom Omni* foi adotado para este trabalho, como principal instrumento de interação com o AV. Os pesquisadores realizaram uma adaptação do dispositivo, acoplando à estrutura de interação um pequeno bloco de borracha esponjosa, para realizar a palpação com os dedos, juntamente com a manipulação da agulha usando a interação oferecida pelo dispositivo [17].

C. Simulador de exame da palpação da mama

Na área de exame de palpação da mama também foi desenvolvido um sistema que permite ao usuário realizar a palpação e procurar por tumores rígidos através da sensação de forças de retorno reais baseadas no modelo mecânico da mama [11]. O trabalho utiliza a interface háptica *HIRO* [11] para interação com o ambiente virtual (AV).

A simulação suporta o toque de múltiplos dedos na superfície ao mesmo tempo, sendo que a interação entre os dedos também é considerada. A simulação vai além do retorno de simples pulsos ou forças, quando em contato com uma superfície. A força retornada para o usuário é calculada a partir do modelo mecânico real utilizando técnicas matemáticas que provêm o cálculo realista de forças para um modelo relativamente complexo, em tempo real [11].

Jeon, Choi & Harders [18], introduzem um simulador de palpação da mama. Nele é examinado como a RV aumentada, aplicada no contexto da palpação de nódulos na mama, pode melhorar o retorno de força considerando uma mama de silicone, com forças simuladas de nódulos virtuais. A simulação é realizada por meio da introdução e avaliação de um algoritmo, o qual oferece estes aumentos.

O foco da renderização estava na simulação fiel da força normal retornada ao longo da palpação. Na avaliação realizada, as taxas de similaridade dos tumores físicos e virtuais foram semelhantes e os participantes foram capazes de localizar o nódulo empregando tempos similares nos dois casos [18].

A partir dos aspectos conceituais e da lacuna identificada no que se refere à necessidade atual da área de treinamento médico, o objetivo geral do presente trabalho consiste em realizar a implementação de um protótipo que faça a simulação de retorno de força de nódulos cancerígenos na mama, com o auxílio de um dispositivo háptico.

Este simulador busca trazer como principais diferenciais: a calibragem dos parâmetros de retorno de força, que tornam a experiência mais realista; portabilidade e gratuidade, aspectos possibilitados pelo uso de software livre e que tornam a ferramenta atrativa no que concerne ao custo e à facilidade de uso.

Ainda que o dispositivo de interação não seja ideal para a simulação do exame, por oferecer apenas um ponto de contato, o retorno de força nos dedos se assemelha à sensação que seria fornecida por um dispositivo com vários pontos de contato. Assim, é oferecido um simulador com um custo muito menor, por não necessitar de um dispositivo háptico muito robusto, e que oferece uma experiência muito próxima

daquela que uma luva de dados propõe. Isto é comprovado pelo experimento realizado com a ferramenta, o qual é descrito posteriormente.

A partir deste trabalho, objetiva-se criar um ambiente de treinamento que represente fielmente as sensações obtidas no exame de palpação da mama e aprimore o aprendizado de profissionais da saúde que irão realizar este procedimento.

III. METODOLOGIA

A metodologia é descrita, a seguir, em três subseções: modelagem, na qual são explicitados os detalhes da construção dos modelos virtuais utilizados no AV; parâmetros, que discorre sobre a pesquisa e definição dos parâmetros de retorno de força utilizados na aplicação; e implementação, que trata da inclusão dos parâmetros no código-fonte do protótipo.

A. Modelagem

Primeiramente, definiu-se que o dispositivo háptico a ser utilizado na pesquisa seria o *Phantom Omni*, cujos aspectos de portabilidade e fácil utilização, aliados aos sensores de posição com seis graus de liberdade, fazem dele um dispositivo de excelente custo-benefício.

O simulador aproveitou a estrutura fornecida pelo *ViMeT*, um *framework* de RV orientado a objetos para treinamento médico, desenvolvido na linguagem Java, e que inclui as funcionalidades de deformação, detecção de colisão, estereoscopia e ambiente virtual dinâmico [12]. Além disto, a ferramenta oferece a possibilidade de integração com vários dispositivos convencionais e não-convencionais, sendo destacada a integração ao dispositivo háptico *Phantom Omni*, que foi utilizado neste trabalho.

Outra vantagem do uso do *ViMeT* diz respeito à disponibilidade dos objetos virtuais, os quais já estão inclusos na ferramenta. No presente simulador, em particular, foi reutilizado o objeto virtual que simula a mama para realizar a interação com o usuário e acrescentado um objeto para representar um nódulo.

Em se tratando da interação, é importante ressaltar que o *ViMeT* implementa um AV para simulação de exames de punção utilizando uma seringa, o que não é plausível para o simulador de palpação. Por este motivo, este objeto foi substituído por um objeto virtual que simula uma mão humana.

Em relação ao nódulo, para simulá-lo, foi utilizada uma primitiva geométrica do *Java*, a classe *Sphere*, a qual foi associada ao objeto virtual da mama.

B. Parâmetros

Em seguida, foi conduzida uma pesquisa com a finalidade de identificar os principais atributos dos nódulos mamários, especialmente no que concerne à sua rigidez e retorno de força. Foram pesquisados alguns dos trabalhos que já realizaram a coleta destas informações, a fim de produzir um resumo dos principais padrões de tamanhos, rigidez e características de retorno de força, com o propósito de aplicá-los ao trabalho em questão.

O trabalho realizado em [13] utilizou dados coletados de dois modelos reais de mama, sendo que um deles continha um modelo real de nódulo, de maior rigidez, enquanto o outro referia-se à uma mama normal, sem anomalias. O modelo sem nódulo apresentava elasticidade uniforme e sua rigidez medida em um deslocamento de 10 mm foi de 0.13 N/mm. O modelo com nódulo apresentou a mesma rigidez, exceto por um nódulo de raio de 12.5 mm, cuja rigidez era de 0.54 N/mm. O nódulo estava alocado 25 mm abaixo da superfície do modelo da mama.

Visto que os dados expostos anteriormente refletem as propriedades reais da mama, a força resultante de rigidez da mama foi definida em 0.13 N, e a força de rigidez do nódulo em 0.54 N. Estas forças deverão ser retornadas sempre que o usuário tocar a mama ou o nódulo, ou seja, quando o objeto virtual colidir com o modelo tridimensional da mama.

De acordo com [14], a força resistiva de penetração do tecido, no caso de um exame de punção, é simulada desde um ponto da punção inicial da pele até que o osso seja atingido, e sua direção é dependente da direção da agulha. O conceito da força resistiva pode ser aplicado ao exame de palpação, excluindo-se a situação da perfuração da pele.

Assim, à medida que a mão do usuário pressiona mais a mama, percorrendo a distância da pele até o nódulo, o usuário sente a força de amortecimento total da pele, associada ao nódulo, até a situação de toque no osso, na qual é retornada a força de 3.3 N, a força máxima retornada pelo dispositivo [14]. Isto indica ao usuário, por meio de um retorno de força mais intenso, que não será possível avançar além daquele ponto.

Detectar uma colisão é verificar o momento em que ocorre uma aproximação suficientemente pequena entre objetos de um AV a ponto de possibilitar a ocorrência de uma sobreposição entre eles. No caso do *ViMeT*, isto é feito a partir de um procedimento de detecção que utiliza um refinamento dos métodos *BoundingBox* e *BoundingSphere*, fornecidos pela API *Java3D* [12].

Este refinamento é recursivo, inserindo o conceito de *Octrees*, no qual a área de detecção de colisão é dividida em octantes e é escolhido o octante não vazio cujo centro apresenta a menor distância euclidiana em relação ao centro do objeto para refinamentos sucessivos. Quando esta distância é menor que um determinado valor, a precisão obtida pela colisão é aceitável.

Outro recurso importante da interação com o ambiente virtual no simulador é a deformação dos objetos tridimensionais, a qual simula a reação ao encontro entre dois ou mais objetos quando um deles é composto por tecidos flexíveis.

Neste trabalho foi adotado o método massa-mola para o desenvolvimento da classe que gera a deformação. O método massa-mola é uma técnica baseada nas leis da Física que permite a remodelagem de objetos deformados por meio de nós de massa conectados por molas [16]. Normalmente, a mola apresenta uma força linear, a qual é baseada na lei de *Hooke*; contudo, molas não lineares também podem ser

utilizadas com o propósito de simularem tecidos como a pele humana, cujo comportamento é não elástico [12].

Quando é detectada uma colisão, quatro vetores são criados: um para determinar a posição atual do *Phantom*, calcular a velocidade, determinar a posição em que o *Phantom* colidiu com cada camada e calcular quanto do tecido foi penetrado pelo dedo do usuário. Após determinar cada um destes valores, são calculadas as forças de mola (*spring*) e amortecimento (*damping*) e, somando-as, a força resistiva é determinada. Este fluxo é exibido no diagrama da Figura 1.

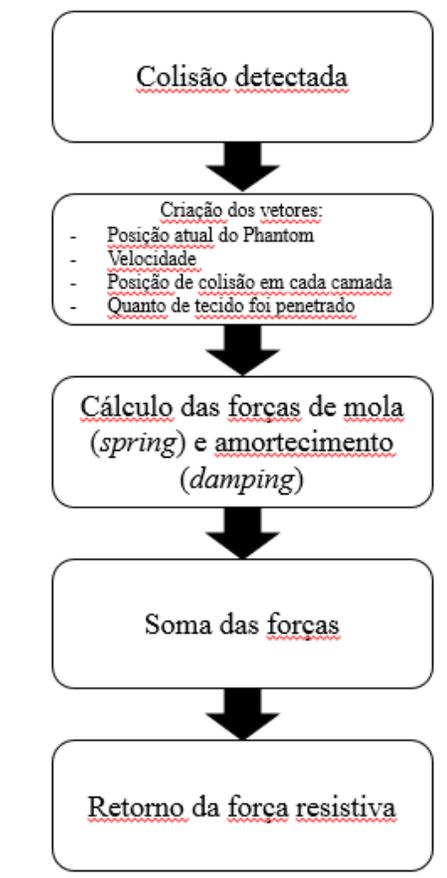


Figura 1. Diagrama de ações após a detecção de colisão

C. Implementação e interação

Considerando a modelagem e os parâmetros anteriormente apresentados, foi iniciada a próxima etapa do trabalho, que consistiu na inclusão dos cálculos supracitados na biblioteca da interface háptica do dispositivo *Phantom*, a HLAPI (*Haptic Library API* – API do dispositivo háptico). Esta biblioteca lida com a detecção e resposta de colisão para renderização háptica de objetos e efeitos. Por isso, nela foram acondicionados os detalhes de colisão com a mama e com o objeto virtual que representa o nódulo, representado por uma primitiva esférica da linguagem de programação Java.

Um programa HLAPI utiliza funções do *OpenGL*, que, por sua vez, é uma API livre com centenas de funções utilizadas para especificar objetos e operações necessários na construção

proposta, visto que eles estariam habituados ao tipo de interação oferecida pelo dispositivo, assim como pela navegação no AV. Posteriormente, os participantes foram inquiridos a respeito das diferenças entre as interações proporcionadas pelo simulador de palpção e os sistemas de RV que eles já haviam manuseado.

A seguir, é feita uma breve descrição dos participantes:

1. Possui 23 anos, apresenta formação superior em Sistemas de Informação e já utilizou simuladores de direção e jogos que utilizam dispositivos não convencionais. Este participante foi selecionado por contar com uma breve experiência na área de RV, com foco na área médica.
2. Possui 25 anos, apresenta formação superior em Ciência da Computação e já utilizou simuladores de direção e voo. Este participante foi selecionado por estar conduzindo um trabalho na área de *serious games* baseados em R V.
3. Possui 25 anos, apresenta formação superior em Sistemas de Informação e utilizou jogos que adotam dispositivos não convencionais. Este participante foi selecionado por ter experiência no desenvolvimento de jogos para dispositivos móveis.
4. Possui 27 anos, apresenta formação superior em Sistemas de Informação e experiência com simuladores de direção e jogos que utilizam dispositivos não convencionais. Este participante foi selecionado por estar trabalhando na área de jogos que empregam conceitos de RV.

Como foi possível observar acima, todos os participantes envolvidos apresentavam sólidos conhecimentos dos principais conceitos de RV, visto que já haviam se envolvido em projetos da área. Tal conhecimento se mostrou muito pertinente para este trabalho, no sentido de avaliar a ferramenta do ponto de vista de um profissional que está apto a reconhecer a qualidade da interação oferecida por um simulador.

Por ser um protótipo, a avaliação inicial com usuários 'técnicos' permitiu avaliar as características técnicas da ferramenta. Na continuidade do trabalho a ferramenta será avaliada com professores e estudantes da área de saúde para confirmar os requisitos funcionais.

Com este experimento, era esperado que eles fossem capazes de desenvolver suas habilidades de realização do exame, principalmente no que concerne à aptidão de discernir as estruturas dos nódulos, a partir do retorno de força diferenciado que elas propiciam. Evidentemente, por não constituírem o público-alvo, os indivíduos em questão são incapazes de proporem melhorias à ferramenta no concernente à simulação do exame em si, por não terem conhecimento das sensações que este tipo de exame traz. Ainda assim, por ser um protótipo inicial, a avaliação destes usuários foi pertinente neste estágio de implementação do simulador.

Antes da realização do experimento, os indivíduos foram submetidos a uma etapa de treinamento, no qual eles fizeram a simulação do exame de palpção da mama, com a estrutura do nódulo visível, conforme exibido na Figura 4. Sendo assim,

além de sentir o retorno de força propiciado pelo toque do nódulo, eles puderam visualizá-lo. Isto possibilitou o reconhecimento e diferenciação do retorno de força do nódulo em relação à mama.

Após esta familiarização com o uso do dispositivo háptico, foi explicado aos usuários que o objetivo da fase seguinte era realizar a palpção da mama virtual com a finalidade de encontrar o nódulo. O encontro do nódulo deveria ser identificado por um retorno de força mais intenso em relação àquele fornecido enquanto o usuário estava procurando tal estrutura. No momento da identificação deste retorno, o mesmo deveria ser comunicado imediatamente, para que o experimento fosse interrompido e o tempo total deste o início até a interrupção fosse aferido.

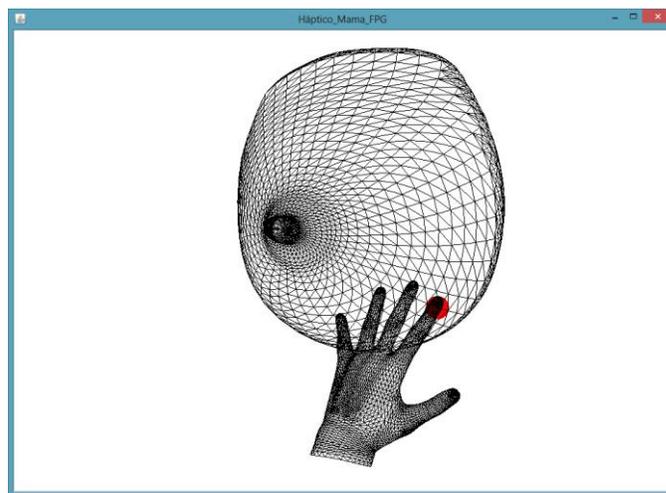


Figura 4. Simulação do exame de palpção da mama com a estrutura do nódulo posicionada no canto inferior direito da mama

A estrutura que utiliza o recurso de estereoscopia, também foi adotada no treinamento, conforme exibido na Figura 5. Este recurso está relacionado à capacidade de proporcionar visualização em três dimensões, ou seja, oferecer a percepção de profundidade. No *ViMeT*, foi utilizada a técnica de anaglifs, a qual, por meio de um par de imagens em cores diferentes (vermelho e azul), que correspondem a duas perspectivas de um mesmo objeto pelas lentes de um par de óculos, cuja função é filtrar as imagens [12].

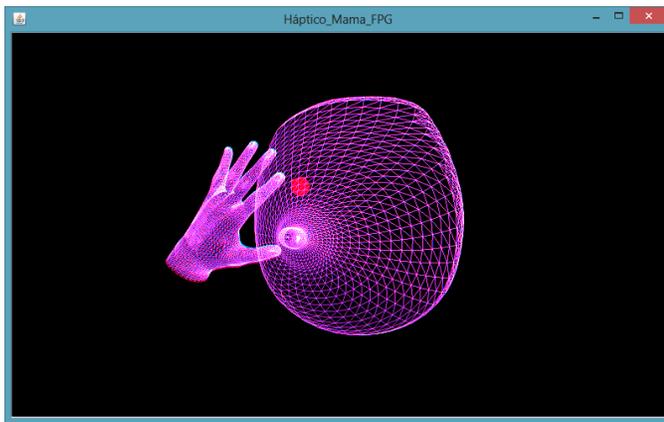


Figura 5. Simulação do exame de palpação da mama utilizando o recurso de estereoscopia

A avaliação consistiu na medição de tempo da ocorrência de uma colisão entre a mão virtual e o nóculo inserido na mama. Ou seja, o usuário, com o auxílio do dispositivo háptico, fez a palpação do objeto virtual até que reconhecesse a sensação de um retorno háptico diferenciado, o que caracterizaria a descoberta de um nóculo, que se encontrava camuflado sob o objeto virtual, como exibido na Figura 6.

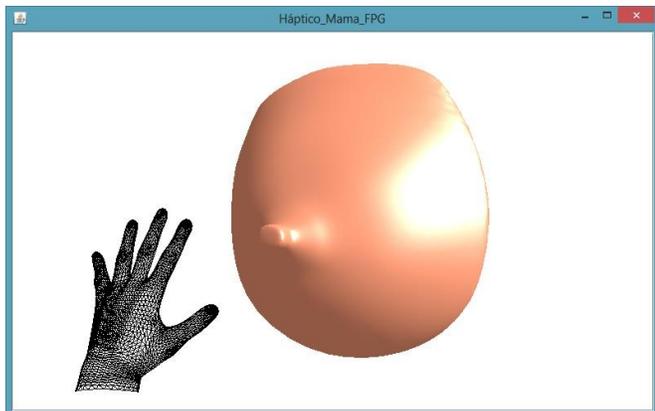


Figura 6. Simulação do exame de palpação da mama com a estrutura do nóculo invisível

Feito isto, foi realizada uma comparação entre o local no qual o usuário identificou o nóculo e o local em que a estrutura foi posicionada no modelo virtual. Desta forma, pretendia-se avaliar se o retorno háptico foi realmente preciso e ofereceu o auxílio necessário ao usuário na descoberta do nóculo mamário.

É importante ressaltar que, a fim de evitar qualquer tipo de aprendizado a respeito da localização do nóculo, a cada teste, o mesmo teve sua posição na mama gerada aleatoriamente, conforme exibido nas Figuras 7 e 8. Foram realizadas três sessões de teste com cada usuário, totalizando 12 testes. O tempo médio de descoberta do nóculo entre os participantes do experimento foi de 93 segundos, sendo que todos os indivíduos conseguiram identificar a posição do nóculo corretamente em todas as sessões.

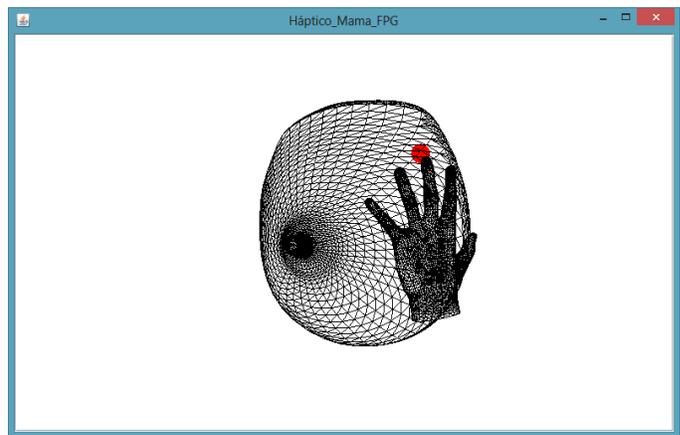


Figura 7. Simulação do exame de palpação da mama com a estrutura do nóculo posicionada no canto superior direito da mama

Esta medida permite inferir que o retorno de força para o nóculo foi satisfatória, dado que usuários leigos foram capazes de diferenciá-lo somente através da palpação. Em relação ao tempo médio para encontrar o nóculo, não é possível obter conclusões definitivas, dado que não foram encontrados estudos que façam menção a medições de tempo consideradas ideais para este tipo de exame.

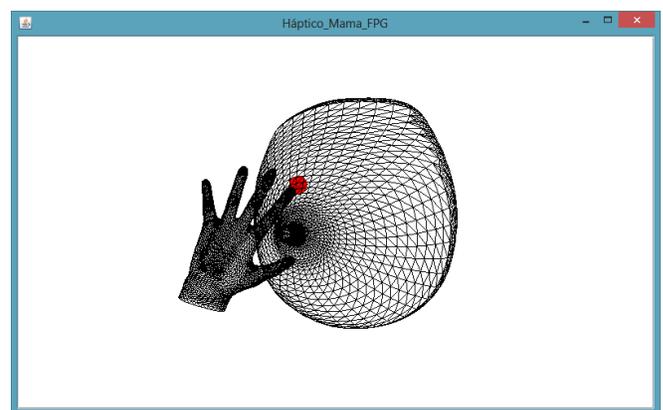


Figura 8. Simulação do exame de palpação da mama com a estrutura do nóculo posicionada no canto superior central da mama

No geral, com exceção de um deles, os comportamentos dos participantes foram muito parecidos, pois todos realizaram a simulação com uma análise minuciosa da mama, concentrando os esforços na tarefa de identificar o retorno de força diferenciado.

O participante que teve a maior média de tempo para identificar o nóculo foi o único que mostrou um comportamento que destoou dos demais participantes, pois, dada a demora em cumprir o objetivo do experimento, o mesmo mostrou-se inquieto e insatisfeito com a sua capacidade de encontrar o nóculo. Vale frisar que isto ocorreu na primeira sessão de teste, e no decorrer das demais, tanto ele quanto os demais indivíduos se familiarizaram com a interação e se mostraram mais confortáveis e confiantes na identificação do retorno de força do nóculo.

Em relação ao tempo de realização do experimento, nenhum participante se destacou sobre os demais, visto que todos obtiveram médias muito próximas. Entre a primeira e a última sessão de teste dos usuários, foram perceptíveis as melhoras das médias de tempo deles, pois, como dito anteriormente, eles foram se familiarizando com o ambiente e isto se refletiu no seu desempenho no experimento.

Inquirindo os participantes, todos destacaram a fácil interação com o dispositivo háptico e sua representação no ambiente virtual, que ajudaram muito no aspecto da imersão no AV. Contudo, também ressaltaram que o *Phantom Omni* talvez não fosse o dispositivo ideal para o treinamento deste tipo de exame, já que no exame de palpação o profissional de saúde utiliza todos os seus dedos para apalpar a mama, e este dispositivo não oferece tal precisão para cada dedo em particular.

Isto se dá, pois, como visível na Figura 9a, o braço mecânico acoplado à *stylus* do dispositivo *Phantom Omni*, dispõe apenas de um único ponto de contato. Este tipo de mecanismo é recomendado para interação em simuladores no qual haja a manipulação de um único objeto, como os procedimentos de punção utilizando agulhas.

No caso da simulação da palpação, isto impossibilita que todos os dedos interajam diretamente com o objeto virtual, ou seja, os movimentos de cada dedo não são reconhecidos simultaneamente e a força não é retornada diretamente em cada um deles, o que não retrata fielmente o que ocorre no exame de palpação.

Sendo assim, para este tipo de simulador, uma alternativa possível é fazer uma adaptação do dispositivo, como realizado em [18]. Contudo, a melhor alternativa consiste na adoção das luvas de dados com retorno háptico em todos os dedos, como a exibida na Figura 9b. Isto decorre do fato de que as luvas de dados são os dispositivos hápticos mais indicados para simulação de palpação, pois, além de identificarem os ângulos dos dedos e posição e orientação do pulso, dispõem de estimuladores ou de um exoesqueleto nos dedos e pulso para oferecer retorno de força às ações realizadas no AV pelo usuário.

Justamente por conta da tecnologia avançada e robustez das luvas de dados com retorno háptico, que elas apresentam um custo muito maior do que o *Phantom Omni*. Este, por sua vez, oferece um excelente custo-benefício frente aos demais dispositivos hápticos, que podem ter preços inacessíveis para projetos acadêmicos. Por essa razão, ele é um dos dispositivos mais utilizados nas atuais aplicações de RV na área de saúde.



(a)



(b)

Figura 9. (a) Dispositivo háptico *Phantom Omni*, (b) Luvas de dados com retorno háptico fornecido por exoesqueleto *CyberGrasp*

De qualquer forma, como o experimento com o simulador buscou diferenciar o retorno de força do nódulo em relação à mama e não a eficiência do dispositivo para este exame em específico, isto não invalida os resultados obtidos.

Vale ressaltar ainda que o protótipo atual considerou um único objeto de interesse (nódulo), o qual foi suficiente como prova de conceito em relação ao retorno háptico. No entanto, no procedimento real a estrutura mamária é bem mais complexa, incluindo diferentes tipos de tecido (gordura, músculos, ductos, anomalias), os quais devem ser simulados com realismo a fim de que o treinamento seja eficiente.

A simulação das estruturas citadas deve considerar múltiplas detecções de colisão, além de retornos sutis de força para simular a densidade dos diversos tecidos. Além disso, a eficiência do treinamento exige a disponibilização de casos aleatórios e diversos.

As características citadas imprimem uma considerável complexidade na construção do simulador e, por isso, torna a pesquisa desafiante e passível de gerar contribuições inovadoras na área de Realidade Virtual aplicada à saúde.

V. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada a definição da implementação de um protótipo de simulação de exame de palpação da mama com retorno háptico, a partir de um *framework* de Realidade Virtual utilizado para treinamento médico. Também foram introduzidos os conceitos relativos ao câncer de mama e exame de palpação da mama, a fim de explicar a motivação por trás do objetivo geral desta pesquisa.

A adoção do *framework ViMeT* no âmbito do simulador mostrou-se útil e proveitosa, dado que foram reutilizados vários recursos da ferramenta, dentre os quais é possível destacar a detecção de colisão, a qual foi preponderante na configuração do retorno háptico. Além deste recurso, as funcionalidades de objetos virtuais e visualização contribuíram para a construção de um AV mais realista para o treinamento.

A definição dos aspectos do desenvolvimento do simulador foi acompanhada da descrição da avaliação realizada para validar o funcionamento da ferramenta, a qual mostrou-se eficiente, comprovando a eficácia do simulador.

A avaliação inicial, ainda que conduzida com usuários que não constituem o público-alvo, foi útil para mostrar a viabilidade do retorno de força como indicativo da existência de uma estrutura de interesse simulada. A avaliação positiva de usuários leigos contribuiu para a validação da ferramenta, visto que eles foram capazes de identificar facilmente um nódulo no AV, frisando que eles tinham pouco conhecimento prévio a respeito do exame de palpação ou das características dos nódulos.

A partir do protótipo apresentado e das validações conduzidas foram identificados os próximos passos necessários para o incremento da ferramenta, que consistem em incluir retorno háptico simultâneo para todos os dedos da

mão, representar os diversos tipos de tecidos usando diferentes níveis de retorno de força, além de geração de casos aleatórios para tornar o treinamento eficiente. Com tudo isto, pretende-se conduzir um experimento futuro com a participação de profissionais da área de saúde, que possam contribuir de forma mais contundente para o desenvolvimento deste simulador.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Processos 559931/2010-7 e 401745/2013-9, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) – Processo 2010/15691-0 e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Medicina Assistida por Computação Científica (INCT-MACC), pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] Instituto Nacional de Câncer. Incidência de câncer no Brasil. www.inca.gov.br/estimativa/2012>. 2012. Acesso em: 01/11/2013.
- [2] M. Petrie, G. Thomas. Mechanical properties of the haptic signals indicative of a breast cancer tumor. In: Systems, Man and Cybernetics, 2007. ISIC. IEEE International Conference on. IEEE, 2007. p. 2233-2238.
- [3] T. R. Coles, D. Meglan, N. W. John. The role of haptics in medical training simulators: a survey of the state of the art. Haptics, IEEE Transactions on, v. 4, n. 1, p. 51-66, 2011.
- [4] S. McDonald, D. Saslow, M. H. Alciati. Performance and reporting of clinical breast examination: a review of the literature. CA: a cancer journal for clinicians, v. 54, n. 6, p. 345-361, 2004.
- [5] Y. Shen, M. Zelen. Screening sensitivity and sojourn time from breast cancer early detection clinical trials: mammograms and physical examinations. Journal of Clinical Oncology, v. 19, n. 15, p. 3490-3499, 2001.
- [6] G. Gerling, A. Weissman, G. Thomas, E. Dove. Effectiveness of a dynamic breast examination training model to improve clinical breast examination (CBE) skills. Cancer detection and prevention, v. 27, n. 6, p. 451-456, 2003.
- [7] J. Wiecha, P. Gann. Provider confidence in breast examination. Family practice research journal, v. 13, n. 1, p. 37, 1993.
- [8] S. Arnab, M. Solanki, V. Raja. A deformable surface model for breast simulation. In: 20th International Conference of the Society for Medical Innovation and Technology, Vienna, Austria. 2008. p. 28-30.
- [9] R. L. Williams II *et al.* The virtual haptic back for palpatory training. In: Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces. ACM, 2004. p. 191-197.
- [10] S. Ullrich, J. Mendoza, A. Ntoubas, R. Rossaint, T. Kuhlen. Haptic pulse simulation for virtual palpation. In: Bildverarbeitung für die Medizin 2008. Springer Berlin Heidelberg, 2008. p. 187-191.
- [11] M. O. Alhalabi, V. Daniulaitis, H. Kawasaki, T. Hori. Medical training simulation for palpation of subsurface tumor using HIRO. In: Eurohaptics Conference, 2005 and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, 2005. World Haptics 2005. First Joint. IEEE, 2005. p. 623-624.
- [12] A. C. T. M. G. Oliveira, F. L. S. Nunes. Building a Open Source Framework for Virtual Medical Training. In: Journal of Digital Imaging, Vol. 23, No 6 (December), 2010: pp 706-720.
- [13] S. Jeon, B. Knoerlein, M. Harders, S. Choi. Haptic simulation of breast cancer palpation: A case study of haptic augmented reality. In: Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2010 9th IEEE International Symposium on. IEEE, 2010. p. 237-238.
- [14] I. A. Souza. Simulador de realidade virtual para o treinamento de biópsia por agulha de nódulos da glândula tireóide. 2007. Tese de Doutorado.
- [15] J. Neider, T. Davis, M. Woo (Eds.). OpenGL. Programming guide. Addison-Wesley, 1997.
- [16] K. S. Choi, H. Sun, P. A. Heng, J. C. Cheng. A scalable force propagation approach for web-based deformable simulation of soft tissues. In Proceedings of the seventh international conference on 3D Web technology (pp. 185-193). ACM. 2002.
- [17] Haptic Palpation for Medical Simulation in Virtual Environments, Ullrich, S. & Kuhlen, T. - IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, v. 18, n 4, 2012.
- [18] S. Jeon, S. Choi, M. Harders. Rendering virtual tumors in real tissue mockups using haptic augmented reality. Haptics, IEEE Transactions on, 5(1):77-84, 2012.