

MODELAGEM TÁTIL , VISUALIZAÇÃO ESTEREOSCÓPICA E ASPECTOS DE AVALIAÇÃO EM UM SIMULADOR DE COLETA DE MEDULA ÓSSEA

Liliane dos Santos Machado¹

Marcelo Knorich Zuffo¹

Ronei Marcos de Moraes^{1,2}

Roseli de Deus Lopes¹

¹Laboratório de Sistemas Integráveis - Escola Politécnica - Universidade de São Paulo
Av. Prof. Luciano Gualberto, 158. Trav.3. CEP: 05508-900 - São Paulo - SP - Brasil
{liliane, mkzuffo, ronei, roseli}@lsi.usp.br

²Departamento de Estatística – CCEN - Universidade Federal da Paraíba
Cidade Universitária s/n CEP 58.051-900 - João Pessoa – PB - Brasil
ronei@de.ufpb.br

Abstract: *Bone marrow transplant, despite commonly held perceptions, is not a usual surgery. Basically, the bone marrow transplant consists of an infusion of healthy cells, capable of generating identical copies of themselves and producing blood cells. A crucial part of the bone marrow transplant is the process of harvesting the donor bone marrow. This blind invasive procedure is relatively simple, but the success of the procedure will depend on the physician's dexterity, and his ability to manipulate the needle in a complex anatomical region. This paper describes the haptic task modeling performed by a bone marrow harvest simulator. This task is used to provide to the user force feedback reactions by a haptic device. Some discussion about display systems and evaluation aspects are presented too.*

Palavras-chave: modelagem tátil, simulação cirúrgica, realidade virtual, transplante de medula óssea.

1. Introdução

Simulação cirúrgica tem sido fonte de pesquisas em todo o mundo objetivando substituir num futuro próximo os atuais métodos de treinamento e planejamento de procedimentos da medicina. As características esperadas em sistemas desse tipo incluem o uso de modelos anatômicos com propriedades físicas que permitam que dispositivos de reação tátil sejam capazes de fornecer ao usuário retorno de força durante a manipulação do objeto manipulado [1]. Os modelos tridimensionais podem ainda apresentar deformação no tempo, implicando na necessidade da sincronização entre as rotinas de exibição estereoscópica e as rotinas de cálculo de força que controlam o dispositivo de reação tátil [2].

A coleta de medula óssea é uma das etapas do transplante de medula óssea, um procedimento necessário em diferentes tipos de tratamento de câncer [3]. Para a coleta de medula óssea um médico utiliza uma agulha para aspirar o material encontrado no interior dos ossos, geralmente realizando a aspiração a partir do osso ilíaco situado na região pélvica do corpo humano. O processo consiste de diversas penetrações da agulha no osso, todas seguidas de aspirações, até a coleta de aproximadamente 200 ml de medula óssea. No entanto, a execução deste processo não permite a visualização das estruturas internas do corpo do paciente, e a penetração até o osso acontece sem que o médico possua qualquer tipo de informação visual, exceto a visualização do exterior do corpo do paciente. Na coleta realizada em crianças é utilizada sedação parcial, o que exige uma manipulação habilidosa da agulha para a realização rápida e precisa do procedimento.

2. Trabalhos Relacionados

As pesquisas de realidade virtual na área médica crescem a cada dia. Uma grande quantidade de projetos de simulação e treinamento médico pode ser encontrada na literatura e através da Internet. Simuladores de procedimentos para medicina utilizam a realidade virtual para oferecer sistemas de tempo-real interativos e com estímulo visual e tátil, em sua maioria. Além disso, alguns desses trabalhos apresentam ainda objetos que permitem deformação no tempo, como o sistema para treinamento em cirurgias oculares desenvolvido pela Universidade do Colorado [4]. Esse sistema utiliza um modelo deformável do olho humano e permite determinar o local correto de incisão do bisturi com o auxílio de um dispositivo de reação tátil. Assim, o usuário sente as diferentes propriedades dos tecidos que contituem o olho humano, podendo ainda visualizar o corte sendo efetuado. Sistemas semelhantes para cirurgias oculares estão sendo desenvolvidos na Universidade de New Jersey [5] onde a modelagem do olho é feita por elementos finitos, e no Medical College na Georgia [6].

Simuladores para treinamento em laparoscopia também são objeto de interesse e pesquisa [7] devido ao fato das imagens fornecidas por uma câmera no interior do paciente serem a única fonte de informação visual. Para esses sistemas, já estão disponíveis comercialmente diversos dispositivos de reação tátil próprios para essa finalidade.

Em New Jersey, nos Estados Unidos, o Human-Machine Interface Laboratory trabalha em parceria com a Faculdade de Medicina no desenvolvimento de um sistema para diagnóstico de câncer de próstata [8] uma vez que esta é a segunda causa de morte entre homens no país. O diagnóstico virtual é feito através de um anel que fornece resposta tátil ligado ao simulador que seleciona um de quatro diferentes casos: próstata normal, próstata aumentada, tumor em estado inicial, tumor em estado avançado, e tem como objetivo que o usuário determine através do tato o diagnóstico correto.

Treinamento de cirurgias ortopédicas também é tema para o desenvolvimento de simuladores. Segundo Sourin [9], os estudantes treinam este tipo de cirurgia utilizando modelos plásticos que não possuem as mesmas densidades e características, exceto na forma, de um osso humano. A idéia de construir este simulador surgiu do fato de que modelos ósseos de boa qualidade são muito caros e do fato de que alguns tipos de ossos não

possuem modelos disponíveis para compra. Assim, o sistema permite que, com o uso de modelos de ossos virtuais com características físicas semelhantes aos reais, o estudo da fixação de um osso fraturado possa ser feita.

Existem ainda simuladores para sutura cirúrgica [10] e planejamento de neurocirurgias [11], dentre outros tantos. O que é possível observar nesses projetos é o objetivo comum de aumentar a qualidade dos serviços médicos prestados, seja oferecendo treinamento, planejando mais eficientemente, ou visualizando interativamente órgãos ou tecidos de difícil acesso.

3. O Simulador de Coleta de Medula Óssea

O sistema em desenvolvimento é um sistema de realidade virtual semi-imersivo que possibilitará ao usuário treinar todas as etapas envolvidas no procedimento de coleta de medula óssea através de simulação [12][13]. A arquitetura do sistema computacional possui quatro módulos básicos responsáveis por cada etapa da simulação (Figura 1).

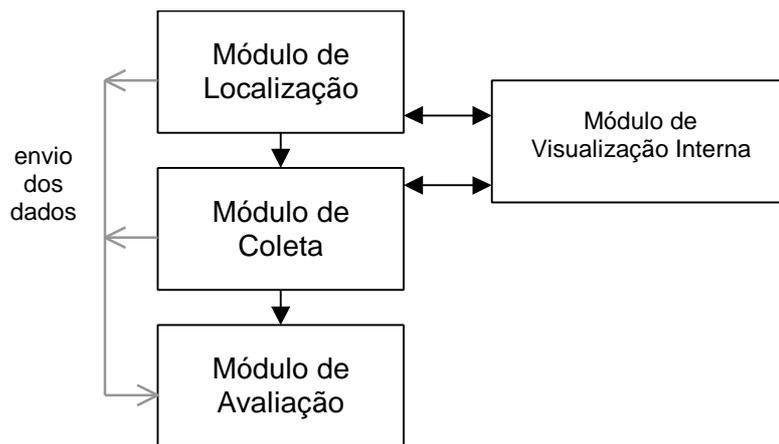


Figura 1: Arquitetura Computacional do Simulador de Coleta de Medula Óssea.

Os módulos foram definidos de acordo com sua funcionalidade, sem a preocupação com os aspectos de implementação envolvidos. São eles:

- Módulo de Localização: permite ao usuário definir a região a ser inserida a agulha. Neste módulo o dispositivo de reação tátil é representado por um bastão;
- Módulo de Coleta: responsável pela simulação do procedimento de coleta da medula óssea, uma vez definida a posição de inserção da agulha. O dispositivo de reação tátil é representado como uma agulha.

- Módulo de Visualização Interna: responsável por fornecer a visualização semi-transparente das estruturas internas do corpo na região da bacia. Esta opção pode ser selecionada pelo usuário no início ou final dos Módulos de Localização e Coleta.
- Módulo de Avaliação: classificador do desempenho do usuário na realização do procedimento.

3.1 Modelagem Tátil e Visualização Estereoscópica

Nos Módulos de Localização e Coleta o usuário poderá tocar o modelo e sentir as propriedades do tecido correspondente. Existem 6 camadas de tecido modeladas que são trespassadas pela agulha, são elas: derme, epiderme, subcutâneo, perióstio, osso compacto e medula óssea. As forças de reação relacionadas a cada camada são transmitidas ao usuário através de um dispositivo de reação tátil. A região de coleta de medula e as camadas relacionadas podem ser vistas na Figura 2.

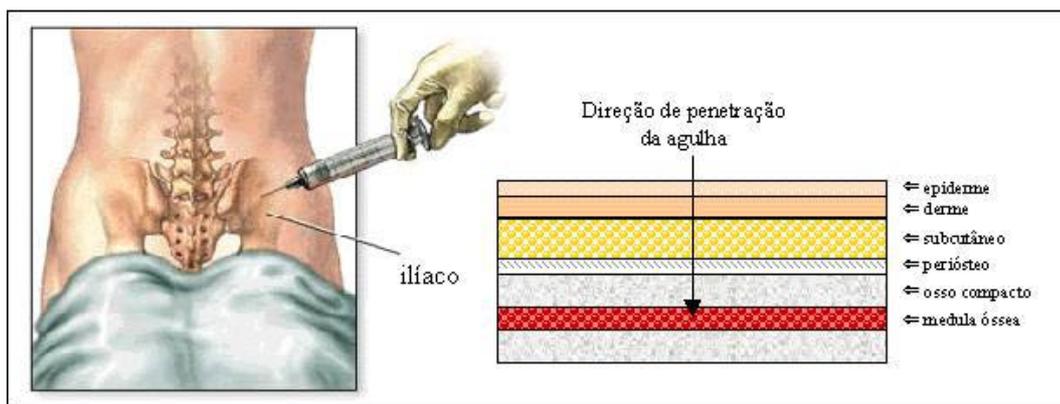


Figura 2: Região de coleta de medula óssea e as camadas trespassadas pela agulha.

Durante a manipulação do modelo o simulador armazena os valores lidos pelo dispositivo de reação tátil como força aplicada, ângulos e posição espacial. As forças aplicadas serão utilizadas para o cálculo da força de reação e da nova posição do dispositivo no modelo, alcançando ou não uma nova camada. Esses mesmos valores serão utilizados pelo Módulo de Avaliação que deverá fornecer ao usuário a sua classificação quanto ao treinamento.

O modelo tridimensional utilizado atualmente apresenta uma simplificação e incorpora, até o momento, 4 camadas: pele (epiderme), interior da pele (derme e subcutâneo), osso (perióstio e osso) e medula (medula óssea). A visualização das camadas osso e medula já está disponível com estereoscopia. A Figura 3 mostra o modelo tridimensional empregado na visualização. A “casca” do modelo representa o osso e seu interior representa a medula óssea. Para a utilização do dispositivo de reação tátil, esta simplificação parece ser adequada uma vez que é possível atribuir propriedades físicas diferentes para a casca e para o seu interior.

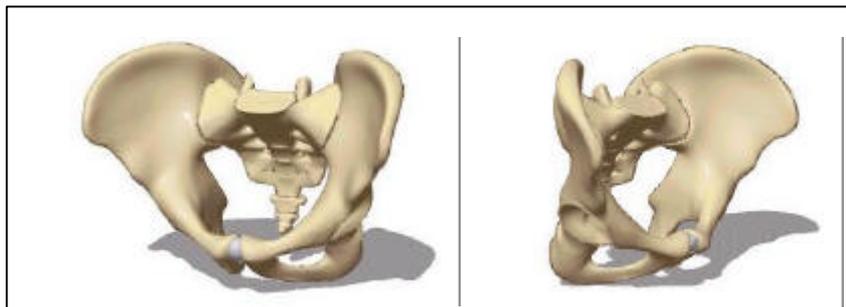


Figura 3: Modelo tridimensional simplificado utilizado para representar as camadas de osso (periósteo e osso compacto) e medula (medula óssea).

O Módulo de Visualização Interna deve gerar visualizações semi-transparentes de forma a permitir observar as camadas internas do modelo. Uma vez que o objetivo do sistema é treinamento, esta opção mostra-se bastante interessante para o estudo prévio da anatomia da região de interesse ou para que o usuário possa verificar a sua manipulação. No entanto, as rotinas de *rendering* visual devem ser sincronizadas às de cálculo de força, de forma que não haja atraso na visualização estereoscópica ou no envio das forças. A Figura 4 mostra o diagrama de estados do simulador.

3.2 Avaliação do Usuário

A avaliação do procedimento completo de coleta de medula óssea faz-se necessária para fornecer ao usuário do sistema o seu desempenho, permitindo-lhe acompanhar a evolução do seu aprendizado. O Módulo de Avaliação buscará nos Módulos de Localização e Coleta as informações necessárias para a avaliação. Estas informações são referentes ao posicionamento da agulha, posição de inserção e movimentação e forças aplicadas.

Para a avaliação do procedimento executado pelo usuário, os dados identificados como importantes são:

- Local de inserção da agulha
- Ângulo de inserção da agulha
- Força aplicada durante a inserção
- Localização da Medula Óssea

Estes valores deverão ser utilizados para inferir e classificar o procedimento tendo-se como referência um procedimento ideal realizado por médicos experientes e previamente armazenado no sistema [14].

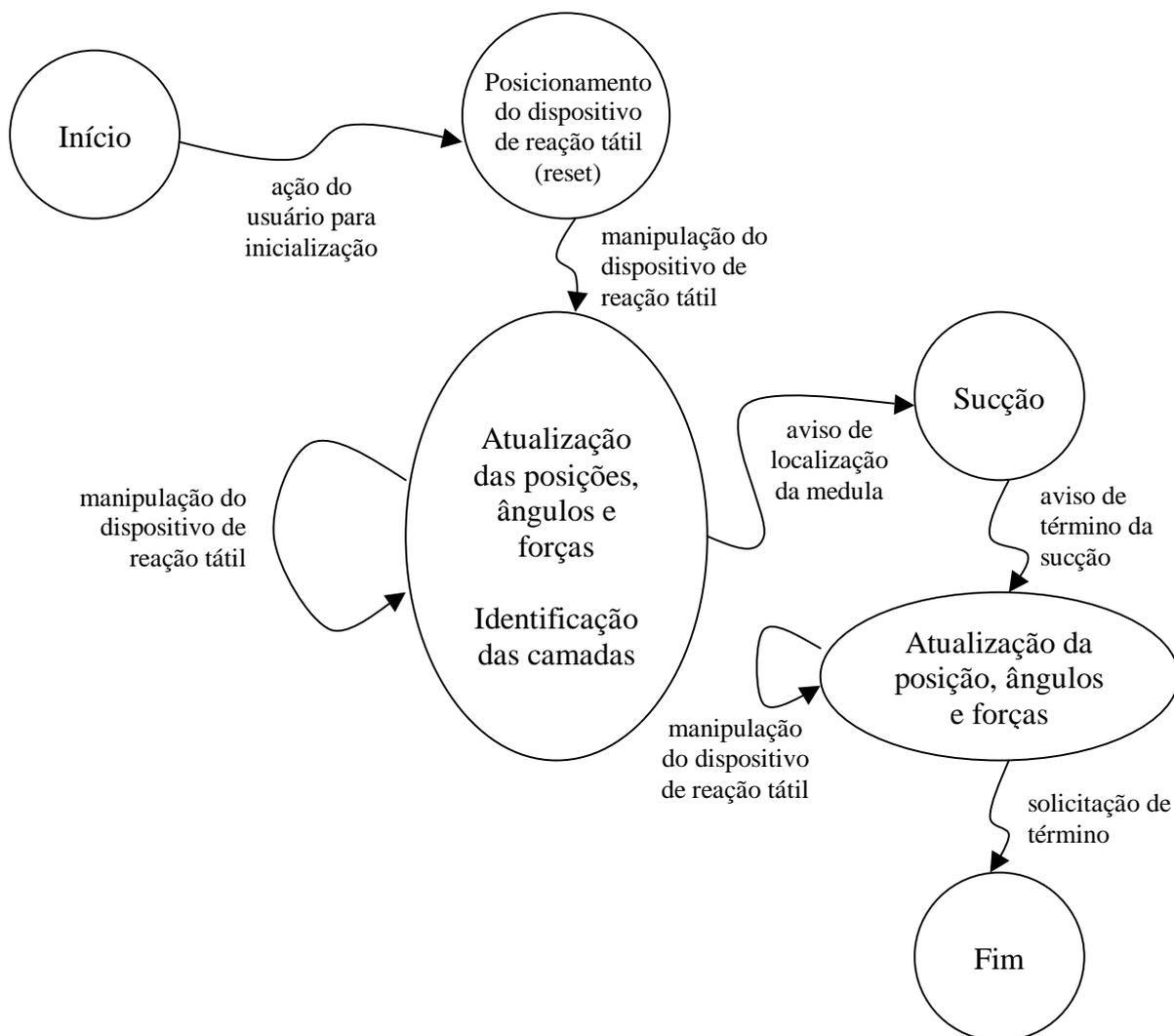


Figura 4: Diagrama de estados do Simulador de Coleta de Medula Óssea. As ações do usuário são representadas por transições entre os estados.

4. Avaliação de Sistemas de Exibição Estereoscópica

O sistema de exibição escolhido inicialmente para o sistema baseou-se no conceito de “Fish Tank” apresentado por Warren, Arthur e Booth em 1993. Neste sistema um monitor de vídeo é utilizado em conjunto com óculos para fornecer visualização tridimensional [15]. A grande vantagem deste tipo de sistema é permitir a visualização da simulação por mais de um usuário. No caso da aplicação de coleta de medula óssea não existe a necessidade de um grande campo visual, uma vez que a região de manipulação é pequena e restrita.

Inicialmente, o equipamento utilizado é um monitor de vídeo de 20 polegadas associado aos óculos da Stereographics. Os óculos e o monitor trabalham em conjunto com um emissor infra-vermelho conectado à placa de vídeo e responsável pela sincronização das imagens do monitor e da obturação das lentes do óculos. O monitor de vídeo apresenta uma taxa de *refresh* que será dividida ao meio no momento da exibição estéreo. Para os óculos utilizados, a taxa ideal é de 50 frames por segundo para cada olho, ou seja, o monitor deverá trabalhar com 100 Hz. As imagens no monitor são alternadas ao mesmo tempo que uma das lentes do óculos é obstruída. A velocidade da alteração é rápida e não perceptível ao usuário. A Figura 5 mostra o sistema para visualização estereoscópica da stereographics utilizado neste projeto.

Monitores autoestereoscópicos também são uma opção interessante [16], pois possuem as mesmas vantagens quanto à visualização múltipla sem, no entanto, exigirem o uso de óculos. Infelizmente, o seu custo ainda é proibitivo.



Figura 5: Conjunto composto por óculos e emissor CrystalEyes para visualização estereoscópica.

Para uma imersão ainda maior para o usuário podem também ser utilizados sistemas de projeção semi-esférica (Figura 6) ou mesas de visualização (Figura 7). No caso das mesas de visualização, elas são especialmente interessantes por permitirem ao usuário a operação do simulador em uma posição semelhante à utilizada durante o procedimento real, o que torna o uso do sistema mais natural e realista em termos de interação.



Figura 6: Sistema de projeção semi-esférica.

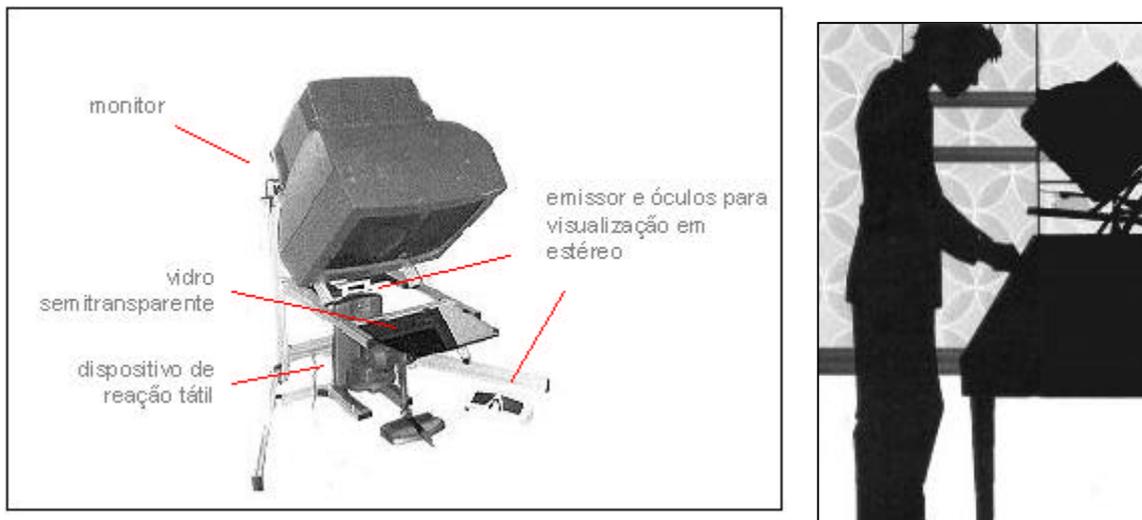


Figura 7: Mesa de visualização e posição do usuário durante a interação com o sistema.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

A simulação de procedimentos médicos invasivos baseados na realidade virtual pode ser potencialmente útil em várias áreas da medicina com é o caso da oncologia pediátrica. Neste trabalho apresentamos a metodologia utilizada para o desenvolvimento de um ambiente de simulação baseado na modelagem das interfaces táteis e visuais. Este modelamento objetivou a criação de ambientes virtuais com alto grau de fidelidade, incorporando recursos de ensino médico (no caso a possibilidade de visualização da anatomia interna) e avaliação de procedimentos (do ponto de vista de aceitação do médico e do ponto de vista de avaliação do médico).

As próximas etapas deste trabalho relacionam-se com a introdução desta ferramenta no ambiente de ensino médico e a avaliação do simulador em relação aos procedimentos atualmente utilizados no treinamento de transplantes de medula.

6. Agradecimentos

Este projeto é financiado pela FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (99/01583-0), com suporte adicional da FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos, projeto RECOPE Visualização na Engenharia e Medicina.

Gostaríamos de agradecer aos médicos Prof. Dr. Vicente Odone Filho (Coordenador da Cadeira de Oncologia Pediátrica do Instituto da Criança do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP) e ao Dr. Andre Nebel de Mello pelas suas valiosas sugestões na modelagem do simulador.

7. Bibliografia

- [1] SATAVA, R. **Medicine 2001: The King is Dead**. Virtual Reality Conference 1994. Disponível em: <http://www.csun.edu/cod/94virt/med~1.html>. Acesso em julho de 2000.
- [2] MCINERNEY, T.; TERZOPOULOS, D. **Deformable Models in Medical Image Analysis: A Survey**. Medical Image Analysis, v.1, n.2, 1996.
- [3] STEWART, S.K. **Bone Marrow Transplants – A Books of Basics for Patients**. Blood & Marrow Transplant Newsletter, Illinois, 1992.
- [4] MAHONEY, D.P. The Eyes Have It. **Computer Graphics World**, v. 21, n. 8, p. 69-70, agosto de 1998.
- [5] SAGAR, M.A.; BULLIVANT, D.; MALLISON, G.D.; HUNTER, P.J. A Virtual Environment and Model for the Eye for Surgical Simulation. **Computer Graphics**, SIGGRAPH 94 Proceedings, ACM, 1994.
- [6] BITCENTER. **Biomedical Interactive Technology Center - Eye Surgery Simulation**. Disponível em: http://www.bitc.gatech.edu/bitcprojects/eye_sim/eye_surg_sim.html. Acesso em outubro de 1999.
- [7] KISMET. **The Karlshure Endoscopic Surgery Trainer**. Disponível em: http://iregt1.iai.fzk.de/TRAINER/mic_trainer1.html. Acesso em abril de 2001.
- [8] BURDEA, G.; PATOUNAKIS, G.; POPESCU, V.; WEISS, R.E. **Virtual Reality Training for the Diagnosis of Prostate Cancer**. In: Virtual Reality Annual International Symposium, 1998. Proceedings. IEEE, 1998, p. 190-197.
- [9] SOURIN, A.; SOURINA, O.; SEN, H.T. **Virtual Orthopedic Surgery Training**. IEEE Computer Graphics and Applications, v.20, n.3, p.6-9, junho de 2000.
- [10] HALUCK, R.; WEBSTER, R.; SNYDER, A. WANG, W., ZIMMERMAN, D.; MOHLER, B.; HUTCHENS, D. **A Haptic Surgical Suturing Simulator**. Disponível em: <http://cs.millers.edu/haptics/suture.htm>. Acesso em maio e 2000.
- [11] GUAN, C.G.; SERRA, L.; KOCKRO, R.A.; HERN, N.; NOWINSKI, W.L.; CHAN, C. **Volume-based Neurosurgery Planning in the Virtual Workbench**. In: Virtual Reality Annual International Symposium, 1998. Proceedings. IEEE, 1998, p. 167-173.
- [12] MACHADO, L.S.; MELLO, A.N.; LOPES, R.D.; ODONE F^o, V.; ZUFFO, M.K. **A Virtual Reality Simulator for Bone Marrow Harvest for Transplant**. Anais do 3^o Workshop Brasileiro de Realidade Virtual, 2000.
- [13] MACHADO, L.S.; MELLO, A.N.; LOPES, R.D.; ODONE F^o, V.; ZUFFO, M.K. **A Virtual Reality Simulator for Bone Marrow Harvest for Pediatric Transplant**. Studies in Health Technology and Informatics - Medicine Meets Virtual Reality 2001, v. 81, p. 293-297, IOS Press, 2001.
- [14] MACHADO, L.S.; MORAES, R.M.; ZUFFO, M.K. **Fuzzy Rule-Based Evaluation for a Haptic and Stereo Simulator for Bone Marrow Harvest for Transplant**. 5^o Phantom Users Group Workshop Proceedings, 2000.
- [15] WARE, C.; ARTHUR, K.; BOOTH, K. **Fish Tank Virtual Reality**. In: Conference on Human Factors in Computig Systems, 1993. Proceedings. ACM, 1993, p.37-42.
- [16] KAUFMANN, C.; LIU, A.; BURRIS, D. **DTI Autostereographic Display: Initial Evaluation**. Studies in Health Technology and Informatics - Medicine Meets Virtual Reality 2000, v. 70, p. 156-158, IOS Press, 2000.