

# Avaliação “Fuzzy” para um Sistema de Realidade Virtual para Treinamento

Liliane dos Santos Machado<sup>1</sup>, Ronei Marcos de Moraes<sup>1,2</sup>, Marcelo Knorich Zuffo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Sistemas Integráveis – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Av. Prof. Luciano Gualberto, 158. Trav.3. CEP: 05508-900 - São Paulo – SP

{liliane, ronei, mkzuffo}@lsi.usp.br

<sup>2</sup> Departamento de Estatística (CCEN) - Universidade Federal da Paraíba  
Cidade Universitária s/n CEP 58.051-900 João Pessoa – PB

ronei@de.ufpb.br

**Abstract.** *Virtual Reality has been used to construct simulators in several fields, especially those where critical tasks are involved as some medical procedures. We are presenting an intelligent evaluation system to classify the medical learning obtained by the use of a virtual reality medical simulator for bone marrow harvest. Once the information given by the specialists about the procedure are subjective, we are using a fuzzy intelligent evaluation to supervise the execution performed by user. At the end of this execution, the evaluator can classify the user in five different learning levels.*

**Resumo.** *A Realidade Virtual tem sido utilizada em sistemas de treinamento/simulação em diversas áreas, especialmente aquelas em que existe risco envolvido, como certos procedimentos médicos. Neste trabalho apresentamos uma ferramenta de avaliação inteligente utilizada para classificar o aprendizado do usuário em um simulador para o treinamento de coleta de medula óssea para transplante. Uma vez que as informações oferecidas pelos especialistas sobre a execução do procedimento são subjetivas, utilizamos um sistema de avaliação inteligente “fuzzy” para monitorar a execução do procedimento e ao final classificar o usuário em cinco níveis de aprendizado.*

## 1. Introdução

O uso de modelos e sistemas de realidade virtual para treinamento cirúrgico e simulação realística tem sido objeto de inúmeras pesquisas em todo mundo [Haluck et al., 2000 e Sourin et al., 2000]. Simuladores que apresentam avaliações de desempenho comparam a resposta do usuário do simulador a uma resposta esperada pré-definida, fornecendo a porcentagem de acerto dentre os sucessivos treinamentos efetuados por um mesmo usuário [Burdea et al., 1998]. Em outros casos, o treinamento simulado pode ser gravado em vídeo e posteriormente avaliado por um médico experiente. Métodos de avaliação *on-line* capazes de monitorar o desempenho do usuário em simuladores de realidade virtual em medicina são tema de pesquisas recentes [Rosen et al., 2000 e Rosen et al., 2001]. Neste tipo de avaliação, o sistema deve ser capaz de coletar os dados do procedimento e compará-los a um ou mais procedimentos ideais pré-inseridos no sistema por especialistas. O resultado esperado é a classificação do usuário em

relação à realização de um procedimento ideal levando-se em conta cada etapa e idealmente atribuindo uma nota ao desempenho deste usuário, permitindo-lhe identificar os pontos a serem melhorados e acompanhar sua curva de aprendizado.

A coleta de medula óssea para transplante, apesar de parecer simples, não é um procedimento fácil de ser executado. A coleta é realizada às cegas e depende basicamente da habilidade do cirurgião em manipular a agulha em uma região anatômica complexa. Estamos construindo um sistema de realidade virtual [Pimentel e Teixeira, 1995] que simula as sensações táteis envolvidas neste processo [Machado, 2000] e a ele acoplamos um avaliador inteligente baseado em regras “fuzzy”. Este avaliador será capaz de avaliar se um médico novato que utilizou o sistema para treinar obteve um desempenho satisfatório e, portanto, se está apto a executar o procedimento em um paciente real. Para tanto, o conhecimento de especialistas é modelado por regras “fuzzy”, com respeito a cinco variáveis, para fornecer a classificação final.

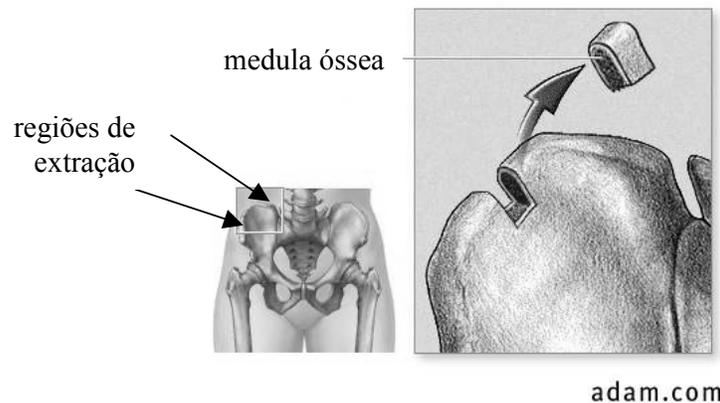
## **2. Motivação**

O transplante de medula óssea é um procedimento médico relativamente recente. O primeiro transplante realizado com sucesso ocorreu em 1968 e desde então tem sido um procedimento corrente para pacientes com leucemia, anemia aplástica, linfomas, mielomas múltiplos, distúrbios no sistema imunológico e alguns tipos de tumores [Oncolink, 1999]. Basicamente, o transplante constitui-se de duas etapas: coleta da medula óssea e infusão. A maior dificuldade encontra-se na coleta da medula óssea, pois ela ocorre numa região anatomicamente difícil, a bacia, e exige que uma agulha penetre no osso para retirada do material. Esse procedimento é feito às cegas, ou seja, não há visualização das estruturas internas do corpo, e a destreza do médico afeta o restabelecimento do doador. Esta destreza está relacionada à quantidade de força exercida pelo médico na manipulação da agulha, ou seja, ele deve ser capaz de reconhecer o momento em que a agulha penetrou no osso, não o transpassando por completo, nem escorregando para a região da articulação. Para a simulação da agulha, um sistema de simulação utiliza um dispositivo que fornece reação tátil [Salisbury, 2001], e permite que o usuário sinta a força por ele aplicada para penetrar no modelo gráfico exibido pelo computador.

A habilidade do médico deve ser adquirida através deste sistema, evitando a utilização de cobaias e disponibilizando o treinamento 24 horas por dia. Existe, então, a necessidade de avaliar a habilidade adquirida em executar o procedimento, e para isto acoplamos ao sistema de simulação um avaliador inteligente. Este avaliador deverá fornecer o grau de aptidão do médico na realização do procedimento.

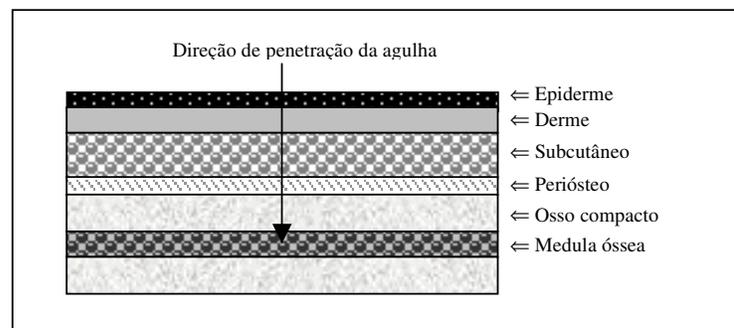
## **3. Descrição do Problema**

A coleta de medula óssea é realizada a partir do osso ilíaco, localizado na bacia e algumas vezes no osso esterno, localizado no tórax. O sistema de simulação do procedimento utiliza a região da bacia para o treinamento. A Figura 1 mostra os locais de extração nesta região.



**Figura 1. Região de extração da medula óssea no corpo humano.**

Para que a agulha alcance o interior do osso, é necessário atravessar diferentes camadas de tecido, sendo que cada uma destas camadas possui espessura e propriedades físicas diferentes. Na Figura 2 é possível observar estas camadas.



**Figura 2. As camadas de tecido transpassadas pela agulha até alcançar a medula óssea.**

Através de informações subjetivas fornecidas pelos médicos especialistas, podemos descrever estas propriedades da seguinte forma (média para um humano adulto):

- Epiderme: aproximadamente 2mm de espessura, elástica e escorregadia;
- Derme: aproximadamente 7mm de espessura, elástica;
- Subcutâneo: aproximadamente 4mm de espessura, macio e sem resistência;
- Perióstio: aproximadamente 2mm de espessura, resistente, escorregadio, lubrificado e liso;
- Osso compacto: aproximadamente 5mm de espessura, duro e bastante resistente;
- Medula óssea: aproximadamente 10mm de espessura, mole e sem resistência.

As propriedades físicas são adicionadas ao modelo tridimensional e serão utilizadas pelo sistema de simulação para fornecer ao usuário as reações táteis através do dispositivo

que fornece reação tátil. Da mesma maneira, o sistema de simulação irá coletar os movimentos, posições e forças aplicadas pelo usuário e transmiti-las ao avaliador inteligente.

## 5. O Sistema de Avaliação Inteligente

Avaliação inteligente é aquela que é realizada por um especialista da área. Em sistemas de avaliação inteligentes, o conhecimento do especialista é armazenado em uma base de conhecimento usando alguma representação lógica, geralmente, por regras. O controle da utilização das regras é feito por um sistema de inferência. A arquitetura formada pela base de conhecimento e pelo sistema de inferência é chamada “sistema especialista” [Rich e Knight, 1993]. Quando há subjetividade na base de conhecimento, sua representação pode ser feita por modelos “fuzzy” [Zadeh, 1988], onde a subjetividade é modelada por conjuntos “fuzzy”.

Em sistemas especialistas “fuzzy”, o conhecimento do especialista sobre um determinado procedimento é modelado por regras “fuzzy”. Cada regra diz respeito a uma variável de interesse e cada especialista pode ter a sua própria opinião sobre cada fato específico. Quando os valores das variáveis de interesse são medidos por um subsistema externo e enviados ao sistema especialista, o sistema de inferência dispara regras da base de conhecimento, que avaliam os dados para gerar conclusões.

No nosso caso, utilizamos um sistema especialista “fuzzy” acoplado a um simulador cirúrgico em realidade virtual. A escolha se deu principalmente devido às definições imprecisas dadas pelos especialistas sobre as camadas de tecido e regiões do osso nas quais pode-se extrair a medula com segurança e nas quantidades desejadas. Para avaliar o treinamento de um residente, os valores das variáveis são coletados pelo dispositivo que fornece reação tátil Phantom Desktop [Massie e Salisbury, 1994] e enviados ao sistema especialista para julgamento. O sistema deve analisar cada passo realizado pelo residente em tempo real e ir armazenando as suas impressões para no final do treinamento classificar o candidato segundo um dos cinco tipos de conjunto nebuloso: “precisa de muito mais treino no procedimento”; “precisa de mais treino no procedimento”; “ainda precisa de treino no procedimento”; “procedimento bem realizado”; “procedimento muito bem realizado”, demonstrando a necessidade ou não de mais treino.

As regras do sistema especialista são modeladas por funções de pertinência de acordo com as especificações de especialistas. Neste caso serão utilizadas as funções de pertinência trapezoidais [Dubois e Prade, 1980], pois há um erro tolerável na posição da agulha em todos os eixos e nos ângulos e nas forças aplicadas que permitirão ao residente obter sucesso na punção, da mesma forma. O sistema de inferência utilizado é do tipo Mamdani-type [Mamdani, 1975].

Um exemplo de regra utilizado neste avaliador inteligente é:

***Se Posição\_X é esquerda\_do\_centro E Posição\_Y é acima\_do\_centro E  
Posição\_Agulha é aceitável E Força é forte E Extração\_Medula é Sim  
Então Classe\_residente é ainda precisa de treino no procedimento.***

onde: Posição\_X e Posição\_Y são coordenadas onde a agulha toca o corpo do paciente; Posição\_Agulha é o ângulo que a agulha entra no corpo do paciente; Força é a força

aparente com que o residente realiza a entrada da agulha; Extração\_Medula mostra o sucesso ou fracasso do residente em extrair a medula e Classe\_residente é a classificação do residente.

Já que o procedimento de coleta de medula óssea é totalmente realizado às cegas, o especialista avaliador humano só pode avaliar o procedimento através de suas impressões externas ao corpo do paciente, pois é apenas o que ele pode ver. O avaliador proposto aqui terá uma posição privilegiada na avaliação do médico novato, pois poderá acompanhar toda a trajetória do procedimento, externa e internamente ao corpo virtual sobre o qual atua, medindo posição e força da agulha transpassando as camadas de tecido e do osso, impossíveis de serem avaliadas pelo observador humano.

## **6. Resultados e Conclusões**

Este sistema se encontra em fase de validação, com a base de regras “fuzzy” sendo implementada pela “Toolbox” “Fuzzy Logic” do Matlab [Mathworks, 2000] e o sistema tátil sendo implementado em linguagem C. Após a validação do avaliador inteligente no Matlab, este será convertido para linguagem C e ambos os sistemas serão reunidos em um único sistema em linguagem C e serão validados em conjunto.

A grande contribuição deste sistema, como um todo, será a possibilidade de apresentar uma ferramenta de treinamento disponível 24 horas. Atualmente, os médicos treinam utilizando porquinhos-da-índia, que possuem propriedades de tecidos apenas semelhantes aos dos seres humanos e permitem um número de manipulações limitado. Neste contexto, o avaliador inteligente permite avaliar continuamente o residente em toda a extensão do seu treinamento, o que não é possível com cobaias, e aperfeiçoar ainda mais o treinamento médico através do seu julgamento.

## **7. Agradecimentos**

Este projeto é suportado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo através do processo número 99/01583-0. Além disso, conta com o apoio do Instituto da Criança do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo, do qual faz parte o Dr. Vicente Odone Filho do Departamento de Oncologia Pediátrica e o Dr. André Nebel de Mello.

## **Referências**

Burdea, G.; Patounakis, G.; Popescu, V.; Weiss, R.E. (1998), “Virtual Reality Training for the Diagnosis of Prostate Cancer”, In: Virtual Reality Annual International Symposium, 1998. Proceedings. IEEE, p. 190-197.

Dubois, D.; Prade, H. Fuzzy sets and systems - theory and applications. Academic Press, 1980.

Haluck, R.; Webster, R.; Snyder, A. Wang, W., Zimmerman, D.; Mohler, B.; Hutchens, D. (2000), “A Haptic Surgical Suturing Simulator”, <http://cs.millers.edu/haptics/suture.htm>, maio.

Machado, L. et al. (2000), “A Virtual Reality Simulator for Bone Marrow Harvest for Transplant”, In: Proceedings of 3th Brazilian Workshop of Virtual Reality.

- Mamdani, E. H.; Assilian, S. (1975), "An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller", *International Journal of Man-Machine Studies*, vol.7, p. 1-13.
- Massie, T.H.; Salisbury, J.K. (1994), "The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects", In: *Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting, Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, Chicago, novembro de 1994.
- Mathworks, *Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide*. Natick: Setembro, 2000.
- Oncolink (1999), "Cancer Center at the University of Pennsylvania", [http://cancer.med.upenn.edu/specialty/med\\_onc/bmt/](http://cancer.med.upenn.edu/specialty/med_onc/bmt/), agosto.
- Pimentel, K.; Teixeira, K. *Virtual Reality - Through the New Looking Glass*. 2.ed., McGraw-Hill, 1995.
- Rich, E.; Knight, K.; *Artificial Intelligence*. New York: McGraw, 1993.
- Rosen, J.; Richards, C.; Hannaford, B.; Sinanan, M. (2000), "Hidden Markov Models of Minimally Invasive Surgery", *Medicine Meets Virtual Reality 2000. Studies in Health Technology and Informatics*, v.70, p.279-285. Amsterdam, IOS Press.
- Rosen, J.; Solazzo, M.; Hannaford, B.; Sinanan, M. (2001), "Objective Laparoscopic Skills Assessments of Surgical Residents Using Hidden Markov Models Based on Haptic Information and Tool/Tissue Interactions", *Medicine Meets Virtual Reality 2001. Studies in Health Technology and Informatics*, v.70, Amsterdam, IOS Press, p.417-423.
- Salisbury, K. (1988), "Haptics: The Technology of Touch", *HPCwire Special* <http://www.sensable.com/community/>, abril.
- Sourin, A.; Sourina, O.; Sen, H.T. (2000), "Virtual Orthopedic Surgery Training", *IEEE Computer Graphics and Applications*, v.20, n.3, p.6-9.
- Zadeh, L.A. (1988), "Fuzzy Logic", *Computer*, vol.1, pp. 83-93.