

Uma Revisão Sistemática de Simuladores de Endodontia Equipados com Dispositivos Hápticos

Tales Nereu Bogoni^{1,2}, Márcio Sarroglia Pinho²

¹Departamento de Computação – Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT)
Campus de Colíder – Colíder – MT – Brasil

²Grupo de Realidade Virtual (GRV) - Faculdade de Informática
PUCRS – Porto Alegre – RS – Brasil

tales@unemat.br, pinho@pucrs.br

Abstract. *The endodontic treatment is one of the most common procedures used by modern dentistry for the restoration of diseased teeth. Moreover, it is the task which requires great dexterity and skill by the dentist. This paper present a systematic literature review regarding the use of Virtual Reality based simulators equipped with haptic devices that can be used in endodontics training of dental students. From the analysis of documents found in the literature, it was possible to identify the types of equipment and methods used to test the simulators, as well as the results obtained in the test sections.*

Resumo. *O tratamento endodôntico é um dos procedimentos mais empregados pela odontologia moderna para a recuperação de dentes doentes, e também, o que exige maior destreza e habilidade por parte do dentista. Este trabalho tem como finalidade apresentar uma revisão sistemática relacionada à utilização de simuladores baseados em Realidade Virtual equipados com dispositivos hápticos que possam ser utilizados no treinamento dos estudantes de odontologia para a área de endodontia. Com a análise dos documentos encontrados na literatura foi possível identificar os tipos de equipamentos e as metodologias empregadas para testar os simuladores, assim como os resultados obtidos nas seções de teste.*

1. Introdução

Endodontia, ou tratamento de canal, é um dos procedimentos mais importantes realizados na odontologia. O procedimento consiste em remover do interior do dente o tecido pulpar infectado ou necrosado e preencher os espaços abertos por algum tipo de material obturador, a fim de restaurar interna e externamente o dente doente (LEONARDO e LEAL, 1998). O sucesso deste tipo de tratamento exige que o dentista possua grande habilidade para manusear o instrumental endodôntico e que não cometa erros durante o tratamento.

O treinamento de dentistas para a realização de procedimentos endodônticos é realizado basicamente com o auxílio de dentes extraídos e inseridos em um manequim, ou manipulados nas mãos do aluno. Devido à necessidade de uma grande quantidade de dentes para a realização do treinamento, em média 2 dentes de cada grupo para cada aluno, muitas instituições de ensino recorrem a dentes artificiais ou dentes de animais,

mesmo sabendo que eles não possuem a mesma formação dos dentes humanos, o que acaba prejudicando o processo de ensino-aprendizagem.

No caso de dentes humanos os alunos são instruídos a buscá-los junto a Bancos de Dentes Humanos (BDH) (NASSIF *et al*, 2003), existentes em muitas instituições de ensino. Uma grande parte dos alunos, entretanto, recorre a meios antiéticos, como compra em cemitérios, para sua obtenção, principalmente devido a pequena quantidade de BDHs e a quantidade de dentes disponíveis neles, sendo que nem sempre possuem todos os tipos de dentes (GABRIELLI FILHO e IMPARATO, 2003).

Com a inclusão de novas ferramentas no processo de ensino-aprendizagem as técnicas de Ensino Assistido por Computador (*Computer-Assisted Learning – CAL*) vêm sendo utilizadas como apoio ao ensino de endodontia, como demonstra o trabalho de Al-Jewair *et al* (2010). Algumas instituições de ensino já vêm utilizando simuladores baseados em RV para simular o paciente durante o processo de ensino-aprendizagem. Visando aumentar o grau de realismo destes simuladores, mais recentemente começaram a ser utilizados dispositivos de interação háptica, que são responsáveis por fornecer ao usuário alguma sensação de toque e força similares àquelas percebidas ou exercidas quando os procedimentos são executados em pacientes reais.

O termo háptico (*haptics*), de acordo com Oakley *et al* (2000), refere-se à capacidade de sentir um ambiente virtual através do tato e é composto por dois componentes independentes, o cutâneo, responsável pelas sensações de pressão, temperatura e dor, e o cinestésico, que é responsável pelas sensações de movimento e força.

Um dos grandes problemas enfrentados para o desenvolvimento de simuladores com recursos hápticos é representar corretamente a rigidez e a elasticidade dos materiais, principalmente quando se trata de múltiplos tipos de materiais relacionados, como é o caso da estrutura de um dente, que possui em sua constituição diversos tipos de tecido, cada um com suas propriedades físicas específicas.

O grande desafio dos simuladores equipados com dispositivos hápticos aplicados no ensino de endodontia está em obter um grau de realismo aceitável, mantendo a taxa de amostragem de quadros por segundo em um nível capaz de sustentar a interatividade do ambiente e, em paralelo, conseguir fornecer um retorno háptico eficiente ao usuário, sem solavancos ou atrasos causados pela comunicação entre os dispositivos hápticos e o sistema.

O objetivo do presente trabalho é identificar projetos que utilizam RV, com o auxílio de dispositivos hápticos, para o treinamento de dentistas, na aquisição das habilidades necessárias para a realização de procedimentos endodônticos e apresentar as linhas de pesquisa que estão sendo exploradas nesta área. Neste sentido realizou-se uma revisão sistemática buscando-se identificar os tipos de equipamentos, as metodologias empregadas para avaliar os simuladores e os resultados obtidos com estes simuladores estas de linhas de pesquisa.

A seguir, na sessão 2, é apresentado o protocolo de pesquisa utilizado na revisão sistemática, identificando as questões de pesquisa e as fontes de dados utilizadas. A sessão 3 apresenta a sumarização dos resultados, identificando as área de cobertura de cada um dos trabalhos e suas principais características. Para concluir, a sessão 4

apresenta a avaliação crítica dos trabalhos apontando as áreas cobertas e descobertas pelas pesquisas analisadas.

2. Protocolo da Revisão Sistemática

Esta revisão adotou a metodologia apresentada por Pai *et al* (2004), que descreve os passos para a realização de uma revisão sistemática, sendo que na primeira etapa devem ser definidas as perguntas de pesquisa. Neste trabalho buscou-se identificar quais os tipos de dispositivos de interação háptica e algoritmos de interação utilizados em simuladores de endodontia. Além disto, buscou-se identificar se os trabalhos realizaram testes com usuários e quais seus resultados.

A pesquisa por trabalhos relacionados a simuladores voltados para a área de Endodontia, que fazem uso de dispositivos hápticos foi realizada através de buscas nas bibliotecas digitais disponíveis no portal da CAPES, que possuem conteúdos relacionados às áreas de computação e odontologia. Para efetuar as buscas foram utilizados os mecanismos de pesquisa das bibliotecas IeeeXplore, ACM digital library, ScienceDirect e Springer, além do portal Google Scholar.

Como descritores, foram utilizados pares de palavras, sendo uma fixa, “*Endodontic*”, e a outra variando entre “*Virtual Reality*”, “*Haptic*” e “*Force Feedback*”, com pesquisa realizada no título e no *abstract* dos artigos. Como cada máquina de busca trabalha com parâmetros diferentes, foi necessária a criação de diferentes strings de pesquisa, as quais são apresentadas na Tabela 1, que também apresenta a quantidade de artigos encontrados em cada uma das bibliotecas, totalizando 317 artigos.

Tabela 1 - Pesquisas realizadas nas máquinas de busca das bibliotecas

Biblioteca	Link para pesquisa	String de Pesquisa	#
IeeeXplore	http://ieeexplore.ieee.org/search/advsearch.jsp	"endodontic" AND ("virtual reality" OR "haptic" OR "force feedback")	5
ACM digital library	http://portal.acm.org/results.cfm?coll=ACM&dl=ACM&CFID=102603025&CFTOKEN=61608720	endodontic force feedback	2
		endodontic virtual reality	2
		endodontic haptic	3
ScienceDirect*	http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiSearchURL&_method=requestForm&_btn=Y&_acct=C000037098&_version=1&_urlVersion=1&_user=685977&md5=439f1449e2d024e1718655dc4dfa7176	endodontic and “virtual reality”	21
		endodontic and haptic	1
		endodontic and “force feedback”	3
Springer*	http://www.springerlink.com	endodontic and “virtual reality”	3
		endodontic and haptic	3
		endodontic and “force feedback”	4
Google Scholar	http://scholar.google.com.br/advanced_scholar_search?hl=pt-BR&as_sdt=2000	endodontic and “virtual reality”	171
		endodontic and haptic	63
		endodontic and “force feedback”	36
Total			317

*Áreas de pesquisa: Ciência da Computação, Medicina e Odontologia. **Áreas de pesquisa: Ciência da Computação e Engenharia. Pesquisas realizadas em 01/09/2010

Devido à grande quantidade de documentos localizados pelo Google Scholar, sem referência direta ao assunto, foi necessário realizar uma seleção manual destes artigos baseada no resumo do documento oferecido pela página de pesquisa da ferramenta. Assim, eliminando-se os artigos duplicados, por estarem presentes em outras bases de

dados, e os artigos sem relacionamento com o assunto, restaram, desta ferramenta de busca, 8 artigos que foram inseridos no processo de leitura e sumarização dos resultados.

Foram definidos 3 critérios para a inclusão dos artigos dentro do conjunto de documentos de interesse:

- Estar disponível em forma de artigo completo em uma biblioteca digital online;
- Contemplar propriedades ou características de treinamento endodôntico auxiliado por dispositivos hápticos;
- Relatar a implementação ou a aplicação de algum simulador ou técnica para ser utilizada em simuladores.

Após a inclusão dos artigos em uma base de dados única restaram 31 artigos para serem avaliados. A primeira avaliação foi realizada através da leitura do título e do *abstract* dos artigos, sendo que, 12 artigos foram descartados por estarem fora da área de estudo. Na segunda etapa foi feita a leitura da introdução e conclusão dos demais artigos, sendo que, nesta etapa 6 artigos foram excluídos por tratarem de endodontia, porém apenas da reconstrução dos dentes ou de análise de imagens, sem utilizar dispositivos hápticos. Restaram 13 artigos que foram lidos na íntegra para a sumarização das informações, sendo que 5 destes artigos pertencem aos mesmos autores que publicaram no período de 2004 a 2007 partes de uma tese de doutorado (MIN LI, 2006), e, outros 5 artigos que, apesar de indicarem ser da área de endodontia, tratavam de problemas de dentística¹ e, portanto, não estão aqui expostos.

3. Extração de Informações

Os resultados obtidos pelo processo de revisão sistemática estão sumarizados na Tabela 2 e cada um dos trabalhos selecionados é detalhado a seguir.

Um dos trabalhos pioneiros voltados para o treinamento de endodontia com auxílio de dispositivos hápticos, Courtenay e Graham (2000), apresentam técnicas utilizadas para modelar as diferentes camadas do dente utilizando a linguagem VRML (*Virtual Reality Modelling Language*)(CAREY *et al*, 1997). Cada camada possui rigidez específica que reage de forma diferente quando tocada por um instrumento virtual controlado por um dispositivo háptico do tipo PenCat, com dois *graus de liberdade*².

Em outro projeto, Min e Yun-Hui, produziram um conjunto de artigos sobre o desenvolvimento e testes de um simulador para treinamento endodôntico. No primeiro artigo Min e Yun-Hui (2004), os autores propõem uma nova técnica para a modelagem de limas Tipo K e para a estimativa do retorno de força que ocorre durante a interação da lima com os tecidos do canal do dente. Neste trabalho são coletados dados a partir de sensores instalados no cabo de uma lima durante o processo de limpeza e modelagem de um canal. Estes dados são utilizados para estimar a elasticidade da lima e o comportamento do material removido. Dando continuidade ao projeto os mesmo autores

¹ Dentística é a especialidade da odontologia que estuda a remoção das cáries e restauração dos dentes.

² Os graus de liberdade de um dispositivo háptico definem em quantos eixos este dispositivo é capaz de gerar forças. Estas forças podem estar relacionadas tanto a movimentos de translação quanto de rotação.

apresentam um novo modelo para simulação do comportamento da interação entre o tecido pulpar e uma lima do Tipo K (Min e Yun-Hui 2005). Nesta abordagem a polpa do dente é representada por um sistema de partículas baseado em *Smoothed Particle Hydrodynamics* – SHP (MONAGHAN, 1992) e o corpo do instrumento endodôntico é modelado utilizando Método de Elementos Finitos. São utilizados cálculos baseados em mecânica de fluídos para estimar o retorno de força da interação do instrumento com a polpa do dente e com as paredes do canal. Foi utilizado um dispositivo do tipo *Phantom Desktop* para a avaliação dos efeitos de realimentação do dispositivo estimado pelo sistema. Os pesquisadores afirmam que o modelo proposto é eficiente no que se refere a proporcionar sensação convincente de toque em procedimentos endodônticos com o uso de dispositivos hápticos de alta fidelidade. Em quarto trabalho os mesmos autores exploram a modelagem e métodos eficazes de simulação de operações de configuração do canal radicular para fornecer retorno de força háptico e tátil convincente (Min e Yun-Hui 2006a). A metodologia consiste em executar a modelagem do canal do dente com o auxílio de um robô, denominado *Robotic Endodontic Measured System* - REMS, que coleta os dados de força e torque utilizados na ferramenta e recebidos na ponta da raiz do dente. Estes dados são utilizados para gerar os vetores de força para o retorno háptico, com base no treinamento realizado com o auxílio de *Support Vector Machines* – SVR (HEARST *et al*, 1998). A avaliação é feita através da comparação de resultados medidos com o REMS e os valores estimados pelo método. Após a execução de inúmeros testes, os pesquisadores concluíram que, com a utilização de SVR pode-se estimar de forma satisfatória as forças de interação existentes dentro do canal do dente. Dando continuidade a este trabalho com robôs foram realizados testes de avaliação do simulador (Min e Yun-Hui 2006b). Estes testes consistiram em comparar os dados coletados a partir do REMS com os dados obtidos a partir de procedimentos realizados no ambiente virtual, com o uso de um dispositivo *Phantom Desktop*. De acordo com os pesquisadores, o modelo háptico proposto pode proporcionar boa simulação global para o treinamento endodôntico, no entanto, o modelo é menos preciso quando simula a força do instrumento ao se deslocar em direção à raiz do dente (profundidade), quando comparado aos movimentos laterais do instrumento. Mesmo com a diferença variando entre 0.04kgf e 0.21kgf entre os modelos analisados, dependendo do eixo avaliado, os pesquisadores concluíram que o simulador é capaz de gerar sensações de toque convincentes para o usuário.

Finalizando a série de artigos, apresentam uma revisão geral dos trabalhos já destacados aqui, incluindo os testes finais de avaliação da eficiência do simulador com relação aos dispositivos háptico e gráfico utilizados (Min e Yun-Hui 2007). Pode-se perceber que o uso de métodos de simulação de hidrodinâmica como o SHP, para representar a polpa do dente, e MEF, para representar a ferramenta, elevam o custo computacional a ponto de afetar a qualidade do retorno háptico, que deve ser mantido em torno de 1KHz. No experimento, conforme aumenta o número de partículas que compõe a polpa do dente, a taxa de atualização do *render* háptico e gráfico diminui, tornando o sistema instável e com oscilações no manipulador háptico, que, no teste com melhor qualidade atingiu 21Hz de *render* háptico e um tempo de mais de 6s para a atualização do modelo, caso o número de partículas da polpa fique entre 300 e 600 é possível manter o *render* háptico em aproximadamente 60Hz.

Outro simulador para a área de endodontia é apresentado por Marras *et al* (2008). Neste trabalho o objetivo principal é simular tarefas de abertura coronária para tratamento endodôntico. No simulador primeiramente são apresentados todos os dentes e o usuário escolhe quais ficarão visíveis durante o treinamento. Além disto, a arcada dentária completa do paciente virtual, que pode abrir ou fechar, é apresentada com gengiva, ossos e um rosto personalizado de uma pessoa, obtido com a utilização de fotografias. O sistema está preparado para utilizar 4 tipos diferentes de brocas que podem ser manipuladas por mouse ou por um dispositivo háptico do tipo *Phantom Desktop* com 6 DOF e utiliza óculos do tipo *Shutter Glasses* para visualização. Os dentes são representados de forma volumétrica para a realização do render háptico e para a reconstrução de sua superfície. Durante o processo de *drilling* (desgaste do dente) são executadas operações de erosão sobre o volume para simular a remoção de material do dente. Uma sessão de testes com usuários foi realizada com a participação de 50 pessoas, entre estudantes de odontologia e profissionais da área que julgaram que o sistema é capaz de simular todos os procedimentos importantes da área de perfuração de dentes, que um dentista necessita para ganhar experiência. Segundo os autores foram detectados alguns erros nos procedimentos executados por parte dos usuários, o que exigia a intervenção do observador dos testes. O trabalho relata ainda a necessidade de melhorar aspectos relacionados à ergonomia, usabilidade e realismo do simulador melhorando a qualidade das interações físicas entre os instrumentos utilizados e o dente quando se trata de remoção de material.

Suebukarn *et al* (2010), apresentam uma metodologia para avaliar a curva de aprendizado de usuários que utilizam um simulador para treinamento de abertura coronária e acesso aos canais radiculares. No método proposto o usuário utiliza dois dispositivos hápticos do tipo *Phantom Omni*, com 6 DOF para movimentação e 3 DOF de retorno de força, um para manipular o instrumento rotatório e outro para manipular o espelho, que proporciona uma visão indireta do dente para visualizar a abertura. Foram realizados testes com 20 estudantes do 4º ano de odontologia. Para estes testes, todos os sujeitos tiveram uma sessão de treinamento, na qual eram apresentadas as funcionalidades do simulador, com 15 minutos de duração e depois de 3 dias começaram a utilizar o simulador. Cada estudante passou por 5 sessões de treinamento utilizando o dispositivo. Após o treinamento, segundo os autores, foi possível perceber uma diferença significativa entre o primeiro e o último teste, tendo havido redução do tempo e dos movimentos realizados na operação, e, uma melhor utilização da força empregada durante o procedimento.

4. Resultados Observados

Desde o ano de 2000 os dispositivos hápticos vêm sendo utilizados em simuladores voltados para o treinamento de procedimentos endodônticos. Considerando que uma parte dos trabalhos tem um mesmo grupo de autores, pode-se perceber que existem apenas 4 grupos de pesquisadores publicando trabalhos na área.

Com relação ao tipo de dispositivo háptico utilizado nos simuladores, um projeto utiliza uma *PenCat*, com 2 DOF para movimentação e retorno de força, 2 utilizam dispositivos do tipo *Phantom Desktop*, com 6 DOF para movimentação e retorno de força e, 1 utiliza dois equipamentos do tipo *Phantom Omni*, com 6 DOF de movimentação e 3 DOF de

retorno de força, sendo que este último permite manipular duas ferramentas endodônticas simultaneamente.

Quanto ao tipo de dispositivo de visualização apenas o trabalho de Marras *et al* (2008), oferece recursos para visão estereoscópica, com a utilização de óculos do tipo *shutter glasses*, os demais utilizam monitores convencionais para visualização.

Outro aspecto a ser levantado refere-se aos procedimentos simulados. Neste quesito, pode-se perceber que um trabalho preocupa-se em criar modelos convincentes de dente, dois são destinados a procedimentos de abertura coronária (acesso) e um destina-se a procedimentos de modelagem e limpeza dos canais radiculares. Considerando os procedimentos necessários para a realização de um tratamento endodôntico completo, pode-se notar que não existem trabalhos voltados para as áreas de anestesia, isolamento e anti-sepsia, obturação e selamento, sendo que o primeiro pode ser considerado de uso comum em todos os procedimentos odontológicos e por este motivo já é largamente tratado em simuladores na área de dentística.

Com relação à qualidade do *render* háptico, pode-se perceber que apenas o trabalho de Courtnay e Graham (2000) conseguiu obter um resultado satisfatório, porém estavam utilizando um dispositivo de apenas 2 DOF. Os demais trabalhos, mesmo indicando ser possível sua utilização não conseguiram atingir velocidade de render ideal, que deve ser de aproximadamente 1Khz, sendo que são aceitáveis taxas de atualização entre 550Hz e 600Hz (Booth *et al* (2003).

Tabela 2 - Trabalhos incluídos na revisão sistemática

Autores	Objetivo	Dispositivo Háptico	Visualização	Metodologia	Conclusões
Courtenay e Graham (2000)	Modelar dentes com suas diferentes partes para <i>render</i> háptico.	PenCat	Monitor convencional	O dente é modelado por um editor específico para mapear o contorno em camadas, em seguida algoritmos de render volumétrico e de reconstrução de superfícies são executados para se obter o modelo e o retorno de força do render háptico, que é feito através de uma PenCat com 2 DOF.	É possível criar modelos de dentes em VRML, com suas partes separadas para interação háptica. A interação com o dente virtual é melhorada com o uso de dispositivo háptico que pode ser facilmente integrado a páginas em VRML.
Min e Yun-Hui (2004)	Explorar a modelagem de instrumentos endodônticos e métodos de simulação em procedimentos na raiz do dente e construir um sistema interativo para treinamento endodôntico.	Não identificado	Não identificado	São obtidas informações de força e torque medidas com sensores instalados em uma lima do Tipo K. Os dados são coletados durante a limpeza do canal de um dente. Estes dados são utilizados para estimar a elasticidade do instrumento que será utilizado no ambiente virtual e para a remoção do tecido do canal.	Apresentam uma nova metodologia para estimar o comportamento dos instrumentos dentro da raiz do dente com modelagem híbrida, baseada na geometria do instrumento e nas interações físicas que ocorrem com os tecidos de dentro do canal.
Min e Yun-Hui (2005)	Apresentar um novo modelo para simulação do comportamento da interação entre o tecido pulpar e uma lima do tipo K.	Phantom Desktop	Monitor convencional	A polpa do dente é representada por um sistema de partículas baseado em SHP e o corpo do instrumento endodôntico é modelado utilizando MEF. São utilizados cálculos baseados em mecânica de fluídos para estimar o retorno de força da interação do instrumento com a polpa do dente e com as paredes do canal.	Os pesquisadores afirmam que o modelo proposto é eficiente no que se refere a proporcionar sensação convincente de toque em procedimentos endodônticos com o uso de dispositivos hápticos de alta fidelidade.

Autores	Objetivo	Dispositivo Háptico	Visualização	Metodologia	Conclusões
Min e Yun-Hui (2006b)	Explorar a modelagem e métodos eficazes de simulação de operações de configuração do canal radicular para fornecer retorno de força háptico e tátil convincente.	Robô específico	Não identificado	É executada a modelagem do canal do dente com o auxílio de um robô (REMS) que coleta os dados de força e torque utilizados na ferramenta e recebidos na ponta da raiz do dente. Estes dados são utilizados para gerar os vetores com valores utilizados para o retorno háptico, com base no treinamento realizado com o auxílio de uma SVR. A avaliação é feita através da comparação de resultados medidos com o REMS e os estimados pelo método.	Com a utilização de SVR pode-se estimar de forma convincente as forças de interação existentes dentro do canal do dente.
Min e Yun-Hui (2006a)	Avaliar a qualidade do retorno háptico obtido com a utilização de modelos baseados em SHP e MEF para modelagem, comparando as estimativas de retorno com valores de referência.	Phantom Desktop	Monitor convencional	Primeiro são adquiridos os dados com o uso do REMS e gerados os vetores do retorno de força, em seguida o mesmo procedimento é realizado no ambiente virtual e os dados referentes à força aplicada são comparados com os obtidos do modelo real. A comparação é feita utilizando métodos de erro médio absoluto e erro quadrático médio.	O modelo háptico proposto pode proporcionar boa simulação global para o treinamento endodôntico, no entanto o modelo é menos preciso quando simula a força do instrumento quando se desloca em direção à raiz do dente (profundidade) quando comparado aos movimentos laterais.
Min e Yun-Hui (2007)	Desenvolver um simulador para treinamento de modelagem e limpeza de canais radiculares com o uso de dispositivos hápticos, utilizando modelagem dinâmica para simular o comportamento dos instrumentos e tecidos.	Phantom Desktop	Monitor convencional	É apresentado todo o processo de desenvolvimento do simulador, desde a modelagem dos dentes até as metodologias adotadas para a criação dos instrumentos e a polpa do canal, bem como a interação entre eles durante o processo de limpeza do canal. Durante os experimentos são avaliados diversas quantidades de partículas que compõem a polpa do dente a fim de identificar qual oferece melhor retorno visual e háptico.	O simulador é capaz de fornecer um retorno de força aceitável para etapas de treinamento. O número de partículas que compõem a polpa do dente influencia na qualidade do retorno háptico e visual, sendo necessário realizar ajustes para reduzir os solavancos causados no dispositivo háptico, que fica em torno de 60Hz com o número de partículas variando entre 300 e 600.
Marras <i>et al</i> (2008)	Desenvolver um simulador capaz de realizar tarefas de abertura coronária para tratamento endodôntico.	Phantom Desktop	Shutter Glasses	A partir de fotos colocam o rosto do paciente para personalizar o paciente virtual, em seguida são selecionados os dentes que estarão visíveis em uma arcada dentária aberta. A estrutura dos dentes é organizada em <i>Maching Cubes</i> para otimizar o render e são utilizadas 4 brocas durante a realização do processo de <i>drilling</i> . Foram realizados testes com 50 pessoas, entre estudantes e profissionais, para a realização de abertura coronária de dentes.	O simulador pode ser utilizado para treinamento de estudantes e para planejamento de cirurgias. Segundo relato dos participantes dos testes o simulador oferece um ganho de experiência para o usuário. Segundo os pesquisadores ocorreram alguns erros na execução dos procedimentos por inexperiência dos usuários no manuseio do dispositivo háptico.
Suebnukar <i>et al</i> (2010)	Avaliar o ganho de habilidades de alunos que utilizam sistema de abertura de dentes para obtenção do canal e identificar as	2 Phantom Omni	Monitor convencional	Os estudantes recebiam um treinamento de 15 minutos, depois utilizavam o sistema para abertura de um dente. Depois de dois dias realizavam novamente a abertura do dente. Após uma semana era realizada a avaliação.	Observou-se no decorrer das seções de testes a diminuição do tempo necessário para o procedimento de abertura, redução da quantidade de movimentos, melhor uso da força em cada situação,

Autores	Objetivo	Dispositivo Háptico	Visualização	Metodologia	Conclusões
	variáveis para a avaliação da quantificação do usuário.				melhor escore do resultado final do dente.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Medicina Assistida por Computação Científica (INCT-MACC), pelo apoio financeiro (Processo 181813/2010-6) e também ao CNPQ (processo 312375/2009-3).

Referências

- Al-Jewair, T. S.; Qutub, A. F.; Malkhassian, G.; Dempster, L. J. A Systematic Review of Computer-Assisted Learning in Endodontics Education. *J Dent Educ.* 2010 74: 601-611
- Booth, S.; Angelis, F.D.; Schmidt-Tjarksen, T. The Influence of Changing Haptic Refresh-Rate on Subjective User Experiences - Lessons for Effective Touch-Based Applications. *Proceedings of EuroHaptics 2003*, pp. 374-383, 2003.
- Carey, R.; Bell, G.; Marrin, C. *The Virtual Reality Modeling Language*. 1997.
- Courtenay, A.; Graham, H. I. Virtual Teeth for Endodontics Training and Practice. In *Proceedings of the international Conference on information Visualisation (July 19 - 21, 2000)*. IV. IEEE Computer Society, Washington, DC, 597. 2000.
- Gabrielli Filho, P. A.; Imparato, J.C.P. Comércio de Dentes. In: Imparato, J. C. P. et al. *Banco de Dentes Humanos*. Curitiba: Maio, 2003. Cap. 10, p. 145-150.
- Hearst, M.A.; Dumais, S.T.; Osman, E.; Platt, J.; Scholkopf, B. Support vector machines. In: *Intelligent Systems and their Applications*, IEEE, vol.13, no.4, pp.18-28, Jul/Aug 1998.
- Leonardo, M. L.; Leal, J. M. *Endodontia: Tratamento de Canais Radiculares*. São Paulo: Editora Pan-americana, 1998.
- Marras, I.; Nikolaidis, N.; Mikrogeorgis, G.; Lyroudia, K.; Pitas, I. A Virtual System for Cavity Preparation in Endodontics. *J Dent Educ.* 2008 72: 494-502.
- Min Li. *Interactive endodontics: Modeling, simulation and experimental validation*. [Ph.D. dissertation]. Hong Kong: The Chinese University of Hong Kong (Hong Kong). 106p. 2006.
- Min Li; Yun-Hui Liu. A virtual endodontics testbed for training root canal skills. *Robotics and Automation*, 2004. *Proceedings. ICRA '04. 2004 IEEE International Conference on*, vol.1, no., pp. 841- 846 Vol.1, 26 April-1 May 2004.
- Min Li; Yun-Hui Liu. Dynamic Modeling and Experimental Validation for Interactive Endodontic Simulation. *Robotics, IEEE Transactions on*, vol.23, no.3, pp.443-458, June 2007.

- Min Li; Yun-Hui Liu. Haptic modeling and experimental validation for interactive endodontic simulation. *Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006a. Proceedings 2006 IEEE International Conference on*, vol., no., pp.3292-3297, 15-19 May 2006a.
- Min Li; Yun-Hui Liu. Learning interaction force model for endodontic shaping with support vector regression. *Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006b. Proceedings 2006 IEEE International Conference on*, vol., no., pp.3642-3647, 15-19 May 2006b.
- Min Li; Yun-Hui Liu. Modeling Interactions of Pulpal Tissue with Deformable Tools in Endodontic Simulation. *Robotics and Automation, 2005. ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on*, vol., no., pp. 2637- 2642, 18-22 April 2005.
- Monaghan, J. J. Smoothed particle hydrodynamics. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*. vol. 30. pp. 543-574. 1992.
- Nassif, Alessandra Cristina da Silva et al. Estruturação de um Banco de Dentes Humanos. *Pesqui. Odontol. Bras.* [online]. 2003, vol.17, suppl.1, pp. 70-74.
- Oakley, I.; McGee, M. R.; Brewster, S.; Gray, P. Putting the feel in 'look and feel'. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (The Hague, The Netherlands, April 01 - 06, 2000)*. CHI '00. ACM, New York, NY, 415-422. 2000.
- Pai, M. McCulloch, M. Gorman, J.D. et al. (2004) "Systematic Reviews and meta-analyses: An illustrated, step-by-step guide", *The National Medical Journal of India*, vol. 17, n.2.
- Suebnuarn, S.; Haddawy, P.; Rhienmora, P.; Gajananan, K. Haptic Virtual Reality for Skill Acquisition in Endodontics. *Journal of Endodontics*, Volume 36, Issue 1, January 2010, Pages 53-55.