

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS APLICADAS A EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

**SISTEMAS HÁPTICOS PARA A EDUCAÇÃO: PASSADO,
PRESENTE E FUTURO**

VICENTE RAMOS DA SILVA NETO
Orientador: Prof.^a. Dr.^a Liliane dos Santos Machado

RIO TINTO - PB
2014

VICENTE RAMOS DA SILVA NETO

SISTEMAS HÁPTICOS PARA A EDUCAÇÃO: PASSADO, PRESENTE E FUTURO

Monografia apresentada à banca examinadora do Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação do Centro de Ciências Aplicadas e Educação (CCAIE), Campus IV da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Liliane dos Santos Machado.

RIO TINTO – PB
2014

S586s Silva Neto, Vicente Ramos da.
Sistemas hápticos para a educação: passado, presente e futuro. / Vicente Ramos da Silva Neto. — Rio Tinto: [s.n.], 2014.
55 f. : il. —

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a Liliane dos Santos Machado.
Monografia (Graduação) – UFPB/CCAIE.

1. Sistemas hápticos. 2. Realidade virtual. 3. Sistemas de informação.

UFPB/BS-CCAIE CDU: 004(043.2)

VICENTE RAMOS DA SILVA NETO

SISTEMAS HÁPTICOS PARA A EDUCAÇÃO: PASSADO, PRESENTE E FUTURO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação da Universidade Federal da Paraíba, Campus IV, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de BACHAREL EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO.

Assinatura do autor: _____

APROVADO POR:

Orientador: Prof.^a Dr.^a Liliane dos Santos Machado
Universidade Federal da Paraíba – Campus I

Prof.^a Msc. Ana Liz Souto Oliveira de Araújo
Universidade Federal da Paraíba

Prof. Msc. Rafael Marrocos Magalhães
Universidade Federal da Paraíba

RIO TINTO - PB
2014

Aos amigos, colegas e professores, minha eterna gratidão por compartilhar comigo seus conhecimentos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao bom Deus por estar presente em todos os momentos da minha vida, me mostrando o caminho a seguir e colocando as pessoas certas ao meu lado para meu crescimento e amadurecimento.

Um importante agradecimento para a minha orientadora, Liliane dos Santos Machado, por sua dedicação, paciência e por ter compartilhado comigo suas experiências.

Também agradeço aos meus pais, Vanderlan e Edileuza, por tudo que fizeram e fazem por mim, pelo apoio, confiança, carinho e incentivo durante toda a minha vida, me dando tempo necessário para atingir meus objetivos sem cobranças ilógicas.

De uma forma toda especial também agradeço à minha noiva, Relba França de Oliveira, que sempre me apoiou, me motivando para alcançar meus objetivos. Muito obrigado Minha Linda, por acompanhar meus sonhos.

A toda a minha família, que deu-me o tempo que necessitava para atingir meus objetivos sem cobranças ilógicas.

Finalmente, agradeço a todos os meus professores e amigos que conheci durante a graduação, saibam que irei levar uma lembrança de cada um de vocês.

RESUMO

Desde o advento da Realidade Virtual busca-se que o usuário se sinta cada vez mais imerso no mundo virtual com o objetivo de aumentar o realismo deste ambiente. Por este motivo, as tecnologias computacionais evoluíram de mouses e teclados, para óculos tridimensionais, luvas digitais, capacetes de imersão e dispositivos de retorno háptico. Com tamanha evolução, hoje, os sistemas que utilizam os dispositivos de retorno háptico (ou simplesmente, sistemas hápticos), estão prestes a mudar a forma como interagimos e controlamos nossos computadores, pois estes sistemas podem conter até três sentidos do corpo humano, o visual, o auditivo e o tátil. Como a origem dos computadores a mais de 50 anos atrás, seus impactos ainda são desconhecidos, o que nos deixa uma pergunta sem resposta: haverá sistemas que utilizem dispositivos hápticos em todas as casas, salas de aula e escritórios? Em decorrência desta e de outras perguntas, o objetivo geral deste trabalho é estudar as tendências e a aplicação de sistemas hápticos dentro do contexto educacional.

Palavras chave: realidade virtual, sistemas hápticos, educação.

ABSTRACT

Since the advent of Virtual Reality, search that the user feel increasingly immersed in the virtual world, aiming to increase the realism of this environment. For this reason, computer technologies have evolved from mice and keyboards, for stereo glasses, digital gloves, immersion helmets and haptic feedback devices. With such developments, today, systems that use haptic feedback devices (or simply, haptic systems) are about to change the way we interact and control our computers, because these systems can contain up to three senses of the human body, the visual , the auditory and the tactile. As the origin of computers over 50 years ago, its impacts are still unknown, which leaves us one question unanswered: there will be systems that use haptic devices in all homes, classrooms and offices? Due to these and other questions, the objective of this work is to study the main trends and the application of haptic systems within the educational context.

Keywords: virtual reality, haptic devices, education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distinção entre a troca de informações háptica e visual ou auditiva	7
Figura 2 - Componentes de um sistema háptico (adaptado de Grow, 2006)	8
Figura 3 - Interface da comunicação de um dispositivo háptico (adaptado de SADDICK, 2011).....	9
Figura 4 - Alguns dispositivos com único ponto de interação	12
Figura 5 - Alguns dispositivos hápticos vestíveis.....	13
Figura 6 - Conceito de toque no mundo real e no mundo virtual (adaptado de SADDICK et al, 2011).....	15
Figura 7 - <i>God-object</i> representado graficamente (RODRIGUES, 2006).....	16
Figura 8 - Protótipo e realização do IKD H3DI, respectivamente (PANTELIO, 2004)	19
Figura 9 - Áreas da educação exploradas por este trabalho	26
Figura 10 - Quantidade de aplicações por área exploradas por este trabalho	26
Figura 11 - Gráfico de variedade dos dispositivos hápticos encontrados na pesquisa	27
Figura 12 - Gráfico de variedade dos níveis de utilização das aplicações estudadas	28
Figura 13 - Análise das aplicações estudadas	30
Figura 14 - Simulação do <i>god-object</i>	33
Figura 15 - Arquitetura da integração do dispositivo <i>Phantom Omni</i> com a ferramenta <i>Unity</i>	33
Figura 16 - Ambiente do protótipo desenvolvido	34
Figura 17 - Quantidade de publicações sobre os sistemas hápticos entre os anos 2000 e 2010 (adaptado de Saddick, 2011).....	34

LISTA DE SIGLAS

RV	Realidade Virtual
AV	Ambiente Virtual
NTIC	Novas Tecnologias da Informática e Comunicação
CAD	Conversores Analógicos para Digital
CDA	Conversores Digitais para Analógico
DOF	Degree of Freedom
HIP	Haptic Interface Point

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	VI
RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE SIGLAS	X
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 MOTIVAÇÃO.....	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 JUSTIFICATIVA	3
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	5
2 SISTEMAS HÁPTICOS	6
2.1 DISPOSITIVOS HÁPTICOS	8
2.1.1 DISPOSITIVOS HÁPTICOS COM ÚNICO PONTO DE INTERAÇÃO	11
2.1.2 DISPOSITIVOS HÁPTICOS VESTÍVEIS	13
2.2 ROTINAS DE CONTROLE	14
3 HÁPTICOS EM EDUCAÇÃO	17
3.1 ASTRONOMIA	18
3.2 ENGENHARIA	19
3.3 FÍSICA	21
3.4 MATEMÁTICA	22
3.5 QUÍMICA	23
3.6 SAÚDE	23
4 DISCUSSÃO	26
4.1 CONTRIBUIÇÕES	31
4.2 PERSPECTIVAS FUTURAS	34
5 CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

A educação tem sido influenciada de diversas formas pela tecnologia. Neste contexto, a Computação tem oferecido ferramentas e metodologias que ocasionaram a criação de aplicações de interações acústicas e visuais, dentre outras. Uma dessas ferramentas disponibilizadas pela Computação é a Realidade Virtual (RV), uma tecnologia pela qual se utiliza um computador para interagir com algo que não é real, simulando ou imitando a realidade em um ambiente virtual [NETTO et al., 2002]. Com sua popularização, a RV vem sendo utilizada de diversas maneiras em áreas do conhecimento como a Medicina, as Engenharias e a Educação para a produção de aplicações para ensino, entretenimento e treinamento [RODRIGUES, 2011].

Mesmo com a introdução das aplicações computacionais no ambiente educacional, observa-se limitações na exibição ou simulação de aspectos do mundo real. Ou seja, são necessários outros sentidos além da visão e da audição, geralmente explorados nas aplicações, para perceber com maior precisão os fenômenos que ocorrem na realidade. A partir do fato de que os seres humanos são dotados de cinco sentidos (visão, audição, tato, paladar e olfato) para interagir com o mundo em que vivem, as pesquisas sobre RV têm buscado fazer os usuários interagirem com os mundos virtuais da mesma forma como eles interagem com o mundo real, tornando mais completa a experiência nas plataformas computacionais.

Segundo Klatzky & Lederman (2002), o sentido humano do tato “é um ativo, informativo, e útil sistema perceptivo”. Esta afirmação complementa a informação provida por Ackerman (1990) ao explicitar a importância do toque desde os primeiros dias de vida do ser humano. As informações obtidas por meio do toque criam uma base para o desenvolvimento de uma ampla quantidade de conceitos, tal qual a diferenciação entre liso ou áspero, quente ou frio, etc. Em decorrência destes conhecimentos adquiridos, educadores consideram que experimentos que utilizam o sentido do tato, e que envolvem ativamente os alunos na manipulação de objetos, são importantes ferramentas de ensino.

Como dito anteriormente, para a educação, o uso dos sentidos da visão e da audição nem sempre é suficiente para que o indivíduo consiga assimilar todas as características físicas presentes em um ambiente virtual. Por exemplo, é difícil para um professor explicar características como rigidez, textura e forma sem que haja uma interação tátil do aluno com

um objeto que ilustre isto. No ser humano, esta exploração tátil é feita por meio de sistemas sensoriais táteis e cinestésicos que correspondem à distribuição espacial e temporal das forças, sendo a mão o principal membro utilizado para esta exploração [BASDOGAN et al., 2000]. Nos sistemas computacionais, esta exploração é feita utilizando-se os sistemas hápticos, que compõem a subárea da RV que explora o sentido do tato dentro de Ambientes Virtuais (AV).

Este trabalho objetiva investigar a aplicação dos sistemas hápticos na educação, apresentando um estudo sobre aplicações hápticas existentes no contexto educacional, além de prospectar necessidades e desafios que levem ao uso desses sistemas em atividades dentro e fora das salas de aula.

1.1 MOTIVAÇÃO

Uma ferramenta fundamental, hoje em dia, para a educação, é o computador. Com ele conseguimos utilizar e desenvolver simuladores, que nos possibilitam estudar práticas de vários assuntos que seriam difíceis ou impossíveis de testar na vida real. Demeterco e Alcântara (2004), afirmam que a utilização do computador nas escolas, faz com que os alunos se encantem com a possibilidade de compartilhar os seus conhecimentos com outros alunos, ou até mesmo com os professores.

A utilização dos sistemas hápticos no campo educacional tem potencial para incentivar os alunos com um novo tipo de interação com o computador, possibilitando que ele seja introduzido em um AV 3D com uma percepção de realidade superior, que não existia nos sistemas clássicos. O avanço na qualidade e capacidade deste tipo de sistema criou novos modos de aprendizagem no campo educacional, permitindo simular as sensações de toque, força, formas e texturas dentro dos ambientes virtuais, e fazendo com que os usuários possam perceber e captar conceitos físicos de uma forma prática e realista.

Jones (2005) afirma que na última década, houve um desenvolvimento acelerado na quantidade e tipos de dispositivos hápticos e aplicações de RV. Porém, mesmo com o avanço das pesquisas sobre estes sistemas, e sua conhecida capacidade de transmissão de conceitos físicos para diferentes áreas da educação [NAM e SHAFIELOO, 2006], adaptar o modelo de ensino tradicional com as novas ferramentas de ensino-aprendizagem ainda é bastante desafiador [PEREIRA et al., 2007].

Para Jones et al. (2005), a maioria dos sistemas hápticos existentes são utilizadas na medicina, para treino de cirurgias, na odontologia e no treinamento de navegação de voos. É certo que esta nova tecnologia ainda precisa se firmar como uma tecnologia em crescimento e fixar-se como um mecanismo de interação convencional no apoio à aprendizagem do mesmo modo como o teclado é hoje.

É dentro deste contexto de carência de iniciativas voltadas para a educação com o apoio dos dispositivos hápticos, que este trabalho busca realizar a concepção de um estudo mais aprofundado sobre os benefícios que estes dispositivos podem trazer para todos os tipos de ensino, assim como divulgar um pouco mais essa tecnologia pouco acessível e conhecida, para boa parte dos futuros educadores.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral um estudo da aplicação de sistemas hápticos na educação. Dentro desta perspectiva, alguns passos foram delineados durante a concepção do projeto, são eles:

- Analisar as aplicações hápticas existentes no contexto educacional;
- Analisar os benefícios da utilização de aplicações hápticas como sistemas de apoio ao aprendizado;
- Analisar as dificuldades para que essa tecnologia se torne comum dentro das instituições educacionais;
- Analisar as diferentes áreas da educação em que estes sistemas podem ser utilizados no futuro;

1.3 JUSTIFICATIVA

Ao se escolher um tema de pesquisa para o Trabalho de Conclusão de Curso, é importante analisar os vários aspectos pelos quais um tema pode ser selecionado. Entre estes aspectos destaca-se a viabilidade, a originalidade e a importância que este trabalho pode trazer ao meio acadêmico.

As mudanças que as Novas Tecnologias da Informática e Comunicação (NTIC) têm proporcionado ocorrem em alta velocidade, em consequência a essas transformações surge uma nova cultura [SILVA, 2007]. Por este motivo, o uso adequado das novas tecnologias é a principal chave para melhorar a qualidade educacional. A prática do ensino em parceria com estas tecnologias precisa ser uma prática comum no contexto da educação.

Atualmente, ferramentas como os ambientes virtuais de aprendizagem e ambientes virtuais 3D, já estão sendo incorporados ao processo de ensino-aprendizagem. Porém, outra tecnologia que pode ser incorporada a estas ferramentas, e que pode ser bem mais explorada do que é atualmente para a educação, são os sistemas hápticos.

Em conjunto com a RV, os sistemas hápticos trazem para os usuários a sensação de forma e textura que ele sente quando “toca” um objeto virtualmente. Ele está relacionado e conectado ao retorno de força, que é o sentido de efeitos de força para a mão do usuário, e para a sensação de “toque”.

Aplicações táteis permitem que as pessoas interajam com o sentido do tato juntamente com representações visuais e acústicas de objetos e cenas. Aplicações hápticas requerem um dispositivo de interface tátil através do qual o usuário interage com o aplicativo. A intenção é oferecer aos usuários a capacidade de tocar e sentir objetos virtuais dentro de um ambiente virtual, essencialmente, proporcionando uma maior sensação de realismo no ambiente onde o usuário se encontra imerso [BURDEA, 1999].

Este sentimento é importante para permitir que o usuário entenda e navegue nos ambientes virtuais de forma mais natural [FAUST e YONG-HO, 2006]. No entanto, ainda são poucos os trabalhos conhecidos que utilizam dispositivos hápticos para algum tipo de educação, provavelmente devido ao alto custo desses equipamentos. Porém, a eficácia dos sistemas hápticos em relação a aplicações de RV, são comprovadas em diversos trabalhos [BURDEA, 1999] [BASDOGAN et al., 2000] [JONES et al., 2005] [MORRIS et al., 2007]. Dessa forma, é interessante o estudo e investigação em relação à aplicabilidade dos sistemas hápticos como parte do ensino-aprendizagem.

Com a intenção de descobrir a melhor forma de empregar os sistemas hápticos na educação, e com a visível dificuldade que alguns docentes têm de adaptar-se a mudanças no processo de ensino, decidiu-se investigar de que forma estes sistemas podem e tem sido utilizado no contexto educacional.

A seguir apresenta-se como este trabalho está estruturado.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta monografia está estruturada de acordo com a seguinte lista de capítulos:

- No segundo capítulo, “Sistemas hápticos”, é encontrado a importância do sentido do toque, os conceitos que envolvem um sistema háptico, como eles surgiram, alguns tipos de dispositivos hápticos existentes e como é feita a integração entre o hardware e a aplicação;
- O terceiro capítulo, “Hápticos em educação” aborda as formas de aprendizagem existentes, como os sistemas se integram nestas abordagens de ensino, e um estudo de diversas aplicações das mais variadas áreas da educação;
- O quarto e quinto capítulo, “Discussão” e “Conclusão” respectivamente, fecham o trabalho com uma análise sobre o que foi apresentado, e as considerações finais.

2 SISTEMAS HÁPTICOS

O sentido do tato é o único em que realiza tanto sensoriamento, quanto atuação. Por exemplo, as mãos são usadas tanto para perceber a temperatura de um objeto, quanto para se afastar dele, se estiver quente. Barfield (2009) afirma que embora o toque possa parecer envolver menos processamento mental do que outros sentidos, grandes volumes do cérebro estão associadas com as partes do corpo, e o toque pode desempenhar um grande papel na aprendizagem e memória.

No ser humano, a sensação de toque está relacionada ao sentido do tato, que possui dois componentes independentes: o cutâneo (ou tátil) e o cinestésico (também conhecido por *force-feedback* ou retorno de força). O componente cutâneo é responsável pelas sensações de pressão, temperatura, vibração e dor. Já o componente cinestésico é responsável pela percepção das pressões aplicadas nas juntas e nos músculos, permitindo identificar movimento e força. Através das informações recebidas por estes componentes, é possível compreender as propriedades dos objetos, como textura, peso, forma, etc. [BURDEA e COIFFET, 2003]. Por exemplo, podemos sentir o peso de um objeto colocando-o na palma de uma das mãos viradas para cima, porque o peso do objeto exerce forças sobre o pulso, cotovelo e articulações do ombro, e nós exercemos forças opostas para segurá-lo. Druyan (1997) argumenta que essa combinação de cinestesia e percepção sensorial criam fortes vias neurais no cérebro.

A palavra “háptico” é derivada da palavra grega *haphthai* que significa “tocar ou perceber” e está diretamente ligado à informação recebida através do toque ou contato físico, o sentido do tato [BURDEA, 1999] [MACHADO, 2007]. O toque é uma modalidade sensorial única, em contraste com os outros sentidos, pois permite a troca bidirecional de informações entre o ambiente – virtual ou real – e o indivíduo (Figura 1). Através das percepções do sentido do tato, é possível explorar vários conceitos, como: localização, velocidade, tensão e atrito, dureza, densidade, tamanho, contorno, forma, textura, temperatura, pressão, etc. [DRUYAN, 1997].

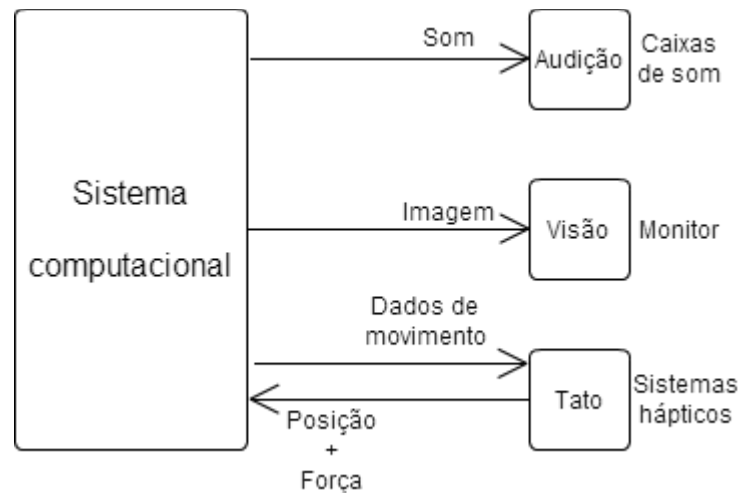


Figura 1 - Distinção entre a troca de informações háptica e visual ou auditiva

As sensações de retorno de força foram usadas primeiramente na década de 50 com o desenvolvimento de sistemas mecânicos para a manipulação de materiais radioativos [GOERTZ, 1952]. Um sistema que utilizava sistema de hastes, correntes e cabos permitindo que os operadores se mantivessem protegidos dos materiais radioativos. Os operadores trabalhavam em um sistema mestre-escravo para operar sobre o material.

A tecnologia dos sistemas hápticos com auxílio de computador surgiu na década de 60, quando Goertz e sua equipe no *Argonne National Laboratory* nos Estados Unidos, construíram máquinas operadas à distancia que retornavam força para seus controladores [GOERTZ, 1964]. Estas máquinas foram usadas para manipular remotamente substâncias radioativas em usinas de energia nuclear. Birglen (2006) afirma que também na década de 60, alguns pesquisadores usaram esta mesma lógica de sensações com retorno de força em próteses para amputado. No entanto, naquela época, o poder computacional dos computadores existentes era muito baixo para produzir forças realistas em tempo real.

Uma das primeiras introduções de sensação háptica em um contexto de realidade virtual foi realizada em 1993 por Adachi et al. [ADACHI, 1995]. Ao invés de calcular uma força única diretamente a partir da interação de máquinas com objetos reais, eles forneciam a representação virtual desses objetos (por exemplo, a utilização de um braço mecânico para manipular modelos moleculares virtuais no projeto GROPE [BROOKS et al, 1990]).

Os sistemas hápticos computacionais são compostos por duas partes: os dispositivos hápticos e as rotinas de controle. Os dispositivos hápticos são periféricos de entrada e saída

que possibilitam que o usuário interaja (atuação) em um Ambiente Virtual, recebendo informações (resposta) sobre as propriedades de objetos ao contato com os mesmos ou sendo restringido em movimentos de acordo com as propriedades de um meio. Deste modo, ao integrar estes dispositivos em ambientes computacionais, é possível programá-los (rotinas de controle) para que possam modificar suas respostas mecânicas a partir de comandos vindos do computador, o que possibilita que informações sejam trocadas entre o usuário e o sistema, bidirecionalmente (Figura 2) [RODRIGUES, 2006].



Figura 2 - Componentes de um sistema háptico (adaptado de Grow, 2006)

2.1 DISPOSITIVOS HÁPTICOS

Saddick (2011) afirma que os dispositivos hápticos estão evoluindo em termos de forma, tamanho e modo de operação devido às novas formas de interação que o usuário precisa ter com as aplicações computacionais. A principal característica desses dispositivos é a troca bidirecional de dados entre o dispositivo e a aplicação que o opera. A seguir veremos uma visão geral dos componentes que compõem um dispositivo háptico e por fim, a descrição de alguns dispositivos hápticos existentes.

Os dispositivos hápticos são compostos por um ou mais sensores e atuadores. Eles convertem o movimento fornecido pelo usuário em sinais elétricos e vice versa. Os sensores são utilizados para registrar e medir as interações entre uma superfície de contato e do meio ambiente, ao passo que os atuadores fornecem movimento mecânico em resposta a estímulos elétricos [PAWLAK, 2007]. Em outras palavras, os sensores convertem os sinais mecânicos, como posição e força, para mapear o mundo real dentro do mundo virtual, e os atuadores apresentam estímulos ao usuário, de acordo com a tecnologia do dispositivo, pois os estímulos podem ser vibratórios, térmicos ou cinestésicos, dentre outros. A comunicação entre sensores/atuadores e sistemas computacionais depende de conversores analógicos para digital (CAD) e conversores digitais para analógico (CDA). Os conversores CAD convertem os dados recebidos a partir dos sensores para um valor equivalente, que é transmitido para a aplicação. Os conversores CDA fazem o caminho inverso, convertem os comandos digitais

vindos das rotinas de controle das aplicações para uma forma analógica que é enviada para os atuadores. Na figura 3, esses conversores estão localizados no Controlador.

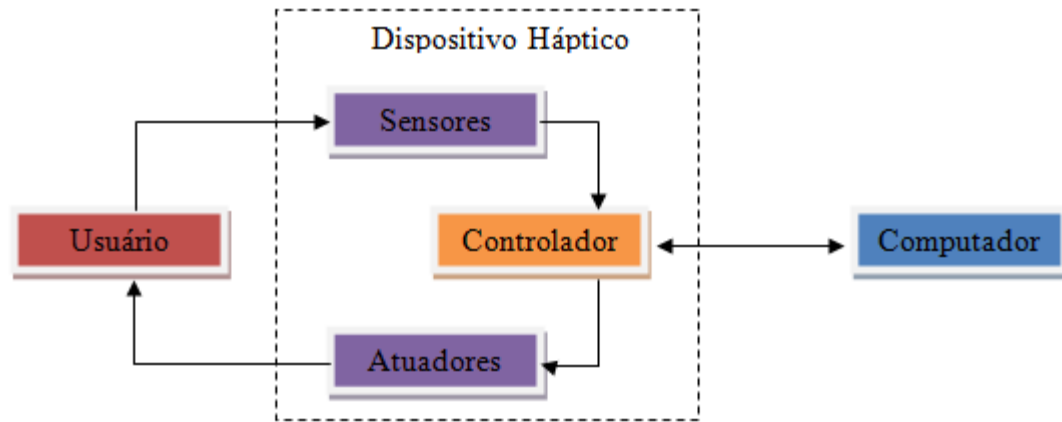


Figura 3 - Interface da comunicação de um dispositivo háptico (adaptado de SADDICK, 2011)

Os sensores podem ser utilizados em uma grande variedade de aplicações para medir ou detectar temperaturas, fluxo de força, vibrações, radiações, etc. No entanto, para o desenvolvimento de aplicações computacionais que envolvam sistemas hápticos, um sensor é utilizado principalmente para a medição de parâmetros de contato (posição, força, pressão, etc.) entre o dispositivo (ou sua representação) e um objeto. Existe uma grande variedade de sensores disponíveis, como sensores eletromecânicos, ópticos, de resistência, de força, magnéticos, dentre outros, cada um com seus próprios princípios de funcionamento [REIMER e BALDWIN, 1999].

Atuadores são dispositivos mecânicos usados para mover ou controlar um mecanismo ou sistema. Em dispositivos hápticos, um atuador exerce forças sobre o corpo (pele) humano para simular uma sensação desejada. Saddick (2011) afirma que as características mais importantes dos atuadores são: velocidade de operação (tempo de resposta), segurança, transparência, espaço de trabalho, número de graus de liberdade, forças máximas aplicáveis, faixa de rigidez, densidade e largura de banda de controle. O autor ainda afirma que os três tipos de atuadores mais importantes para aplicações hápticas são:

- Atuadores Elétricos: incluem atuadores baseados em diferentes tipos de motores. Não necessitam de muito espaço para operar e são fáceis de instalar e manusear, além de produzirem níveis eletromagnéticos insignificantes de ruído e oscilação.

As desvantagens destes atuadores são a baixa largura de banda e rigidez (eles não dobram e, portanto, não podem ser incorporados em dispositivos portáteis).

- Atuadores pneumáticos: São tecnicamente simples, leves e utilizam a pressão do ar comprimido para fornecer sensação tátil aos usuários. Assim como os atuadores elétricos, suas maiores desvantagens incluem baixa largura de banda e rigidez (devido à compressão do ar), além de possuírem grande atrito estático.
- Atuadores hidráulicos: funcionam com base em um fluido, que na maioria dos casos é óleo. Devido à “natureza auto lubrificante dos fluidos”, são considerados dispositivos de alta largura de banda, não sofrem com o problema de atrito encontrado nos dispositivos pneumáticos e suportam grandes cargas de força. Sua desvantagem é a necessidade de mais manutenção devido à necessidade do óleo ser filtrado e limpo em períodos regulares.

Muitas abordagens diferentes já foram investigadas a fim de aperfeiçoar as sensações simuladas pelos atuadores. Alguns exemplos de abordagens existentes incluem dispositivos de levitação magnética, ligações de cabos de aço e de sistemas de cordas, exoesqueletos (para braço ou corpo completo) e, por fim, os dispositivos à base de motor (considerado o tipo de dispositivo mais utilizado [RODRIGUES, 2011]).

As especificações de desempenho dos dispositivos hápticos podem ser divididas em três categorias: físicos, espaciais e temporais. Saddick (2011) define as especificações físicas como aquelas associadas aos atributos mecânicos do dispositivo, como inércia, fricção/amortecimento, atrito, rigidez, tamanho/peso, etc. Já as especificações espaciais são aquelas que definem as características e comportamento do dispositivo háptico propriamente dito, como espaço de trabalho, graus de liberdade, precisão, etc. E por fim, as especificações temporais se referem à medição do desempenho do dispositivo em tempo real, como latência, largura de banda, etc.

Dentre os atributos físicos, a inércia representa a força extra causada pelo peso do dispositivo. A fricção relaciona-se ao atrito e é medida em *Newtons*, enquanto o amortecimento é expresso pela multiplicação de um valor e a velocidade do movimento, que produz uma força em *Newtons*. A rigidez é necessária para transmitir aos usuários que um objeto é rígido (simular uma parede sólida ou virtual). O tamanho e o peso de um dispositivo tem impacto direto sobre o nível de conforto do usuário, pois dispositivos hápticos móveis,

por exemplo, necessitam de uma restrição maior de peso e tamanho em relação a dispositivos fixos [SADDICK, 2011].

Já dentre os atributos espaciais, Saddick (2011) define que o espaço de trabalho é a área total no espaço real, em que o dispositivo háptico pode captar. Os graus de liberdade (*degree of freedom*, ou simplesmente DOF), é a quantidade de direções independentes que o dispositivo pode simular forças. Já a precisão é a acurácia que os sensores têm de referir-se a sua posição real.

Entre os tipos de atributos temporais, latência é a diferença do tempo em que um comando é enviado para o dispositivo, para o tempo em que este comando é executado. Largura de banda é a frequência com que o dispositivo envia força para os atuadores do dispositivo [SADDICK, 2011].

A classificação dos dispositivos hápticos varia de perspectiva para perspectiva. Existem várias maneiras de classifica-los, como por tipo de *feedback* (força ou tátil), ou por mobilidade (vestível ou não-vestível), por exemplo. Neste trabalho, dividiremos os dispositivos em dois grupos: dispositivos vestíveis e dispositivos com único ponto de interação.

2.1.1 DISPOSITIVOS HÁPTICOS COM ÚNICO PONTO DE INTERAÇÃO

Os dispositivos com um único ponto de interação modelam o usuário como sendo um ponto infinitesimal no mundo virtual. Ou seja, a sensação tátil ou de força é definida em apenas um ponto por vez [ZILLES, 1995]. O motivo da grande aceitação destes dispositivos é devido ao fato de possuírem apenas um único ponto de interação. Pois, um dos principais problemas em sistemas hápticos é o processo de detecção de colisão, que é muito demorado e inibe, na maioria dos casos, a capacidade de interação com objetos e cenas mais complexas [MOUSTAKAS et al., 2005].

Os dispositivos hápticos são capazes de rastrear os movimentos do usuário nos eixos x, y e z em um ambiente virtual tridimensional. Os motores dentro do dispositivo retornam as forças pré-programadas quando são detectadas as colisões com os objetos virtuais dentro do ambiente, simulando a sensação de toque [MINOGUE, 2008]. Alguns dispositivos que

podemos citar são: o *Falcon* da *Novint Technologies Inc.* [NOVINT TECHNOLOGIES, 2014] e os dispositivos desenvolvidos pela *Geomagic*, o *Phantom Omni* e o *Phantom Desktop*, respectivamente [GEOMAGIC, 2014] (Figura 4).



Figura 4 - Alguns dispositivos com único ponto de interação

a) *Novint Falcon* padrão; **b)** *Novint Falcon* com extremidade em arma; e **c)** *Phantom Omni*

Especificamente sobre o *Novint Falcon*, este é um dispositivo de comando de jogos que pretende substituir o *mouse* ou *joystick*. Ele possui um pequeno motor que permite sentir e interagir dentro de jogos de computador 3D, permitindo ao usuário controlar o jogo em três dimensões, de forma fiel à realidade. É possível alterar a extremidade *Falcon*, para que seja possível simular outras formas de interação (Figura 4b). A peça padrão é uma esfera (Figura 4a).

Dentre todos os tipos de dispositivos hápticos, o mais amplamente utilizado é o *Phantom* [GEOMAGIC, 2014]. Ele é um dispositivo do tipo caneta que tem seis graus de liberdade e processa três graus de informação da força. Este dispositivo é mantido na mão do usuário, e pode ser utilizado para interagir em ambientes virtuais fornecendo três dimensões de força na ponta da caneta (ou *stylus*) e controlando a posição e orientação da ferramenta, variando em largura, altura, profundidade e força, de acordo com o modelo utilizado [SALISBURY e SRINIVASAN, 1997]. Além disso, ele possui um mecanismo preciso que pode proporcionar uma sensação tátil convincente. Geralmente, as informações sobre a posição da caneta é enviada para o computador a cada milissegundo, para que sua posição seja comparada às posições dos objetos virtuais da cena. Se a caneta não está tocando em um objeto virtual, nenhuma tensão é aplicada aos motores (atuadores) do dispositivo, e nenhuma força é retornada para o usuário. Se o sistema detecta uma colisão entre a ponta da caneta e um dos objetos virtuais, aplica-se uma tensão aos motores para aplicar uma força à mão do

usuário, impedindo que sua representação virtual e sua mão não penetrem no objeto virtual [GUNN, 2007].

2.1.2 DISPOSITIVOS HÁPTICOS VESTÍVEIS

Dispositivos vestíveis são dispositivos hápticos que podem ser utilizados no corpo humano, como na forma de roupas, calçados, etc. Como descrito por Tan e Pentland (2005), em geral, “dispositivos vestíveis devem ser leves, não podem interferir nas atividades diárias do usuário, ser utilizável por pessoas com diferentes graus de sensibilidade para sensações hápticas e necessitar de pouco treino para ser utilizado”. Como exemplo podemos citar as luvas *CyberTouch* e *CyberGrasp*, o colete *3rdSpace Vest*, os exoesqueletos *BLEXX* e *SARCOS*, entre outros (Figura 5).



Figura 5 - Alguns dispositivos hápticos vestíveis

a) *CyberGrasp*; b) *CyberGlove*; c) *3rdSpaceVest*; e d) *SARCOS*

As luvas hápticas foram desenvolvidas para reconhecer o movimento dos dedos de quem as utiliza. É possível sentir *feedback* tátil na ponta dos dedos com auxílio da luva vibrotátil *CyberTouch*, e *feedback* de força pode ser sentido nos dedos através da *CyberGrasp* [IMMERSION CORPORATION, 2014]. Rodrigues (2011) relata que o retorno de força da *CyberGrasp* é exercido através da “rede de tendões” que são encaminhados para os dedos, permitindo a sensação de agarrar os objetos, ao invés de apenas tocá-los. Já Burdea (1992) afirma que a *CyberGrasp* tem a vantagem de apresentar as reações de força ao agarrar objetos, mas na maioria dos casos não fornecem a rigidez total do movimento. Este

dispositivo também seria útil para aplicações de reconhecimento de linguagem gestual ou outros simbolismos.

Os exoesqueletos são dispositivos mecânicos que são fixados a algum membro do usuário, funcionando como um esqueleto externo e exercendo forças sobre o mesmo. Eles funcionam com um princípio semelhante ao utilizado no *Phantom* [GEOMAGIC, 2014]. Eles são usados para simular o agarramento de objetos virtuais (exoesqueletos para a mão), para aumentar força física e resistência (exoesqueletos para os braços, pernas ou corpo todo) [BURDEA et. al, 1992].

2.2 ROTINAS DE CONTROLE

No mundo real uma pessoa pode mudar a posição e orientação de sua mão para tocar um objeto. Assim que a ponta do dedo toca o objeto, ele exerce uma força de reação contra o dedo do ser humano, para evitar que ele seja penetrado. No mundo virtual, um objeto pode ser representado por um modelo gerado por computador, e a ponta do dedo pode ser representada como um ponto. Quando uma pessoa move o dispositivo háptico, o(s) ponto(s) correspondente(s) no ambiente virtual imita(m) o movimento real. Quando a representação virtual do usuário toca o objeto virtual, uma força semelhante à força de reação do objeto real é calculada pelas rotinas de controle e enviada de volta para o dispositivo háptico para impedir que o usuário penetre o objeto [SADDICK et al, 2011]. Como resultado, a pessoa sente como se estivesse tocando o objeto, como representado na figura 6. Rodrigues (2011) define que as rotinas de controle são responsáveis pela interação da representação virtual do usuário com o objeto virtual. Basicamente, consiste em (i) um algoritmo de detecção de colisão para saber quando a representação virtual do usuário toca o objeto virtual, e (ii) um algoritmo para calcular a reação de resposta com base na informação de colisão.

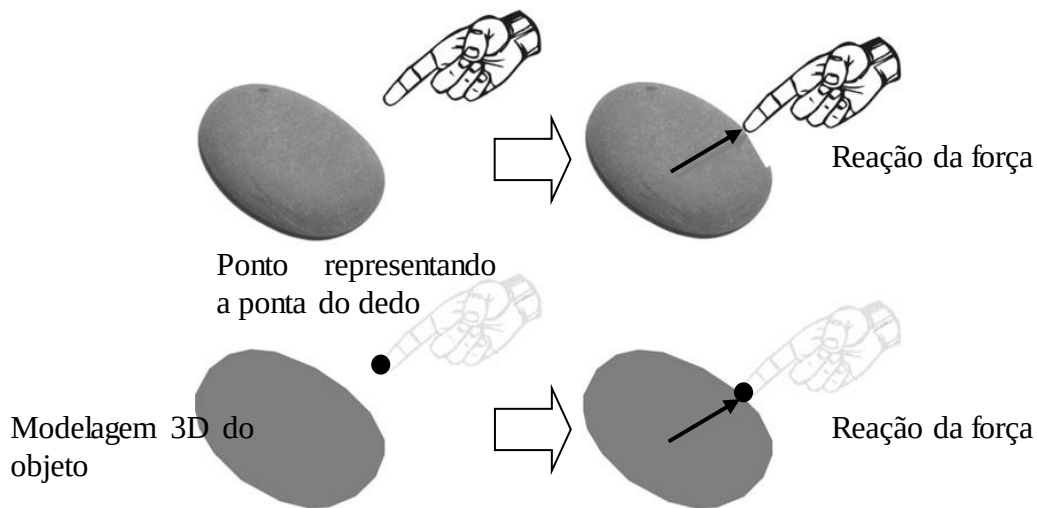


Figura 6 - Conceito de toque no mundo real e no mundo virtual (adaptado de SADDICK et al, 2011)

O cálculo das reações das interações hápticas é feito com o auxílio da leitura da posição, orientação e outros atributos do usuário, por meio do dispositivo háptico utilizado, e em seguida, atualizam a representação virtual do usuário na cena virtual (Figura 6). Se não houver nenhuma colisão entre a representação do usuário e o objeto virtual, não há resposta háptica. Se existe uma colisão, uma resposta é calculada com base nas propriedades materiais do objeto atingido.

Uma vez que uma colisão é detectada, os algoritmos de força de resposta são acionados, e as forças de interação entre a representação virtual do usuário e o objeto virtual são computadas. Dentre os algoritmos que podem calcular esta força de interação, podemos citar o algoritmo *god-object*. Este algoritmo emprega uma estratégia para parar o ponto de contato virtual do dispositivo háptico (*Haptic Interface Point* - HIP) de penetrar objetos virtuais [ZILLES E SALISBURY, 1995]. O HIP é avaliado em cada passo de tempo, se ele é localizado no interior de algum objeto virtual, então a distância entre o HIP e a superfície do objeto é calculado (k). A força correspondente é gerada pela Lei de Hooke ($F = -k.x$). No algoritmo, x representa a distância entre o HIP ($p1$) e o último ponto de contato entre o HIP e a superfície do objeto ($p0$), k representa a constante de rigidez do objeto virtual. Esta força é, em seguida, enviada para o dispositivo para que possa exercê-la contra o usuário.

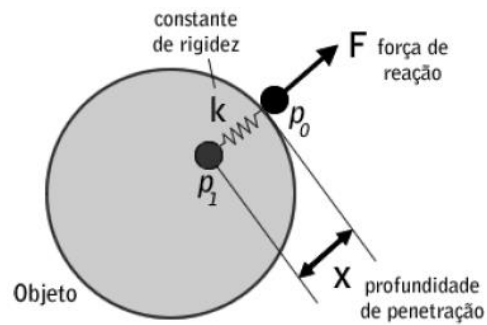


Figura 7 - *God-object* representado graficamente (RODRIGUES, 2006)

O algoritmo *god-object* e outros, como o algoritmo de força amortecedora, são implementados pelas interfaces de comunicação e controle dos dispositivos hápticos. Cada dispositivo háptico possui sua própria biblioteca háptica gráfica para dar acesso aos dados de entrada, comunicando diretamente com os drivers do dispositivo para que possa alterar suas propriedades.

Dentre as bibliotecas existentes, podemos citar: a *Microsoft DirectInput*, projetada para a família *SideWinder* de controladores de jogos; a *TouchSense API* para o mouse háptico da *Immersion Corp.*; o SDK *GHOST* e a *OpenHaptic API* para os dispositivos *Phantom*. A principal característica destas bibliotecas é o fato de serem desenvolvidas dependente de dispositivo e não serem expansíveis [SADDICK, 2011]. Posteriormente, foram desenvolvidas outras bibliotecas independentes de dispositivo, como a *E-Touch*, que já não está disponível e permitia controlar tanto dispositivos *Phantom* quanto *Delta*. Outra API desenvolvida seguindo o conceito da *E-Touch*, foi a *CHAI 3D*, que interage com um conjunto de bibliotecas hápticas gráficas open source que permite ao usuário interagir com código de alto ou baixo nível e modificar os algoritmos de controle para vários dispositivos atuais.

3 HÁPTICOS EM EDUCAÇÃO

Ao longo da história, a educação tem evoluído e novos métodos de ensino foram adquiridos a fim de melhorar os procedimentos de aprendizagem. Pantelios et al. (2004), afirmam que para isto acontecer, é necessário fazer com que os alunos participem dos processos de aprendizagem. Hoje em dia, existem duas maneiras de participar destes processos, a forma passiva e a forma ativa. A forma passiva é obter conhecimento sem interagir com os meios de comunicação que o oferecem. Por exemplo, com a leitura de livros, onde o aluno aceita o conhecimento, mas não interage com o que foi estudado. Na forma passiva, os estudantes leem, ouvem e veem, mas não experimentam (interagem), o que leva a um baixo nível de percepção por parte do mundo físico. Além disso, alguns estudos tem comprovado a diminuição do interesse e entusiasmo que a maioria dos estudantes tem durante o procedimento acima citado [GROW et. al, 2006] [PANTELIOS et. al, 2004]. A forma ativa do processo de aprendizagem é ganhar conhecimento participando (investigando) da cena e manipulando seus elementos. Neste contexto se insere as aplicações baseadas em RV, que foram desenvolvidas nos últimos anos e que possuem imagens, sons, vídeos e animações, permitindo participar, interagir e brincar com o conteúdo ao mesmo tempo em que se ganha conhecimento [PANTELIOS et al., 2004].

Linn (2003) afirma que vários pesquisadores de educação tratam as simulações e modelos virtuais como recursos potenciais para o avanço e aplicação do aprendizado. Os alunos que interagem com esses “micromundos interativos” podem adquirir experiências que lhes permitam desenvolver uma compreensão mais profunda de conceitos científicos [BRANSFORD et al., 1999]. Com a tentativa de criar ambientes mais reais, o uso de sistemas hápticos para explorar o sentido do tato nestes ambientes simulados tem sido investigado em vários estudos [MINOGUE & JONES, 2006].

Algumas evidências indiretas de como os sistemas hápticos podem melhorar a aprendizagem, podem ser vistas no crescente uso desta tecnologia em simulações médicas e de voo. Muitos pilotos são treinados em simuladores de voo, que exigem que seja exercida força sobre os controles, da mesma forma que ocorre durante um voo real. Seguindo o mesmo conceito, muitos tipos de dispositivos hápticos são utilizados para a simulação médica. Por exemplo, os ambientes virtuais para estas aplicações podem ser programadas para se parecer com o tecido dentro do corpo humano, e o usuário pode praticar os procedimento de coleta de

medula óssea, de suturas, entre outras [MACHADO, 2003; WEBSTER et al., 2001]. Ainda no campo da educação médica, embora o sentido da visão possa fornecer informações importantes, o toque é um sentido crítico na realização de procedimentos, particularmente em tarefas invasivas. Assim, o toque permite que os cirurgiões possam identificar partes internas da pele, vasos sanguíneos, bem como analisar a força ideal a ser aplicada para cortar a pele com um bisturi, por exemplo.

No ponto de vista educacional, diversas aplicações têm sido desenvolvidas que diferem quanto aos assuntos explorados, quanto ao público alvo e quanto aos dispositivos utilizados. A seguir serão descritas algumas aplicações encontradas no contexto da aprendizagem na educação.

3.1 ASTRONOMIA

PANTELIOS et al. (2004) desenvolveram uma aplicação, a qual o usuário navega através do sistema solar, coletando informações e interagindo com os vários elementos que o constituem (asteroides, cometas, satélites e planetas). Sua utilização possibilita que os usuários sintam as diferentes forças gravitacionais aplicadas à medida que a representação virtual do usuário se move. Também é possível mover, girar e explorar a superfície dos planetas, sentindo sua geometria, distinguir áreas rochosas e de água, entre outras coisas. O dispositivo háptico utilizado nesta aplicação foi o IKD H3DI (dispositivo desenvolvido exclusivamente para este projeto, Figura 8). Este dispositivo é composto por dois motores anexados nos dedos indicador e polegar – que possuem três graus de liberdade cada –, cuja função é permitir que o usuário sinta os contornos da superfície e texturas. Foram realizados dois testes, o primeiro o foi realizado com dez crianças entre dez e catorze anos, e o segundo em uma conferência internacional para pessoas de todas as idades. O estudo mostrou que a utilização desta aplicação pelas crianças, melhorou seus níveis de percepção de algumas áreas da física devido ao aumento de imersão que ele proporciona, e após a análise dos questionários, também foi comprovada a preferência da utilização deste sistema em relação aos modos de aprendizagem tradicionais.



Figura 8 - Protótipo e realização do IKD H3DI, respectivamente (PANTELIOS, 2004)

Outra aplicação desenvolvida na área da astronomia foi o ambiente “*Mars View*”. Esta aplicação foi desenvolvida por Walker e Salisbury (2003), e tem como principal objetivo, permitir conhecer o mapa topográfico do planeta vermelho. Todo o ambiente foi projetado utilizando-se dados de sondas da NASA presentes neste planeta, e a partir daí, gerar o modelo 3D do planeta. As sensações hápticas do “*Mars View*” são a gravidade, que pode ser percebida ao mover objetos, e na possibilidade de sentir a superfície deste planeta.

Assim como a aplicação desenvolvida por Pantelios et al. (2004), Niy et al. (2006) desenvolveram uma aplicação para o ensino de astronomia, mais especificamente o ensino do sistema solar, para crianças do 6º ao 9º ano, com o *Phantom Omni*. É possível escolher qualquer um dos planetas do sistema solar e sentir sua órbita, gravidade, tamanho, superfície e peso relativo aos outros planetas. O desenvolvimento da aplicação foi realizado de forma gradual, com professores de astronomia validando todas as etapas da criação. Os testes foram realizados com alunos do 6º ao 9º ano e mostrou uma boa relação dos alunos com o novo ambiente, inclusive com perguntas sobre como funcionava a aplicação, e instigando os desenvolvedores a criar outras aplicações hápticas.

3.2 ENGENHARIA

Lim et al. (2010), construíram um ambiente para simulação de montagem de máquinas (equipamentos). O objetivo geral deste trabalho foi investigar o impacto que a utilização de um ambiente de RV háptico pode trazer para o usuário em relação a produtividade em tarefas de engenharia reais. Para isto, foi desenvolvida uma aplicação composta por seis tarefas de montagem. Para a interação do usuário com o ambiente, foram utilizados dois dispositivos

hápticos da *Geomagic*, o *Phantom Desktop* e o *Phantom Omni*. As sensações hápticas são percebidas quando há algum contato entre as peças que o usuário está manipulando, e o equipamento o qual ele está montando. Os experimentos realizados demonstraram que pequenas alterações nos formatos dos componentes a serem montados, afetam o tempo final da montagem. Por este motivo, o autor afirma a importância deste tipo de aplicação para aumentar a produtividade de montadores.

Williams et al. (2007) desenvolveu catorze aplicações voltadas para estudantes dos primeiros períodos do curso de engenharia mecânica. As ideias das aplicações foram desenvolvidas por professores das áreas de física, estatística e dinâmica e envolvem diversos assuntos, dentre eles: lançamento de projéteis, três leis de *Newton*, forças concorrentes, polias, conservação de energia e vetores. Para a interação dos alunos com as aplicações, foram utilizados os seguinte dispositivos: o mouse *Microsoft Sidewinder*, e o joystick *Logitech Wingman*. O autor ainda afirma que ambos os dispositivos são considerados econômicos em relação a outros tipos, o que facilitaria a implantação destas aplicações em instituições de ensino. A aplicação que envolve a terceira lei de *Newton* consiste em dois cubos ligados por um cabo preso a uma polia, ao interagir com o ambiente, o aluno sente o peso dos cubos, a tensão do cabo que os liga ou a força de atrito. Em outras aplicações também é possível sentir a força inércia de objetos que podem ser movimentados pelo usuário, forças concorrentes aplicadas a um mesmo objeto, etc. Os testes foram realizados durante um ano letivo, com a participação de 64 alunos da disciplina de física, 15 alunos de estatística e 21 alunos de dinâmica da Universidade de Ohio. Para a avaliação, os alunos responderam um questionário que cobria diferentes partes das aplicações, como: (i) avaliação do conteúdo, (ii) avaliação do design e usabilidade das aplicações e (iii) avaliação do ambiente de aprendizagem. No geral, as avaliações foram muito positivas na obtenção de uma melhor compreensão dos conceitos básicos do curso de engenharia mecânica, o que indica o potencial de atividades com interação háptica para o ensino nesta área da educação.

Lopes e Carvalho (2010) descreve uma aplicação para estudo de forças aerodinâmicas. A aplicação consiste no estudo do movimento do vento e a força que ele produz em aviões, de acordo com sua aerodinâmica. O usuário inicia a aplicação informando alguns dados como a força do vento, tipo de aerodinâmica do avião e inclinação, e após o começo da simulação, é possível o usuário sentir pelo dispositivo *Novint Falcon*, a força gerada contra o avião dependendo da variação destes atributos. Após os testes, realizados com estudantes do

primeiro ano do curso de engenharia da computação, foi aplicado um questionário para avaliar o conhecimento adquirido, e foi verificado que o aumento na compreensão física do assunto e na motivação para aprendizagem dos alunos.

3.3 FÍSICA

Kretz et al. (2005) desenvolveram uma aplicação que tem como principal objetivo, possibilitar um entendimento maior dos conceitos de física no lançamento de projéteis. O dispositivo utilizado neste trabalho é uma barra limitada a movimentos unidimensionais em que o usuário pode mover o dispositivo ao longo de uma linha. A aplicação consiste de uma catapulta que lança um objeto de acordo com a força que o usuário puxa o dispositivo de interação. Nesta aplicação, o usuário consegue sentir a força elástica no momento que o usuário estica a catapulta. Os testes foram realizados com alguns estudantes, e com os resultados, o autor afirma que a inibição dos usuários com este tipo de dispositivo foi menor do que com aplicações com interação convencional (mouse e teclado).

Williams II et al. (2003) desenvolveram aplicações para o ensino de física em máquinas que engloba os seguintes assuntos: parafusos, plano inclinado, alavancas, polias, rodas e eixos. Para cada assunto foi desenvolvido uma aplicação auxiliada por um professor de física. Por exemplo, para o assunto “alavancas”, foi desenvolvida uma aplicação que permite ao usuário sentir a força necessária para mover uma carga com uma alavanca (gangorra, carrinho de mão ou antebraço humano). Os dispositivos utilizados foram o *mouse Microsoft SideWinder* e o *joystic Logitech Wingman*. Para a avaliação das aplicações, foram utilizados 56 alunos do ensino fundamental de duas escolas diferentes, e o resultado mostrou o potencial que este tipo de aplicação tem para as mais diversas áreas do conhecimento.

O *Virtual Lab* é um ambiente virtual desenvolvido por Trauer e Luz (2005), que consiste na criação de laboratórios virtuais de física e química para escolas de ensino básico. A principal vantagem da utilização deste laboratório virtual é a redução dos custos financeiros com a não implantação de um laboratório real, a não dependência de equipamentos e matérias-primas, e segurança. O dispositivo háptico utilizado para que o usuário possa interagir com o laboratório virtual, manipulando os materiais do laboratório, é do tipo luva de dados.

3.4 MATEMÁTICA

Moustakas et al. (2005) apresentam uma aplicação tátil virtual para ensino de geometria. A aplicação proposta permite que o usuário crie e edite cenas compostas por objetos geométricos tridimensionais, a fim de resolver problemas geométricos complexos. Sua utilização permite estudar diversos assuntos, tais como: intersecção de superfícies geométricas, geometria espacial, secções cônicas e visualização de gráficos tridimensionais. A interação háptica deste sistema consiste da possibilidade de o usuário tocar e selecionar opções no menu, também é possível tocar, agarrar, mover e selecionar as formas geométricas exibidas. Além disso, também é possível “puxar” os vértices das formas geométricas para remodelá-la. Todas estas ações são efetuadas com o auxílio do dispositivo háptico utilizado. Alunos do ensino médio foram utilizados para testar o sistema. Os testes foram analisados em duas situações, identificar o interesse dos estudantes e analisar o desempenho global do sistema, para, com isto, identificar a viabilidade da utilização de um sistema deste tipo no ensino médio e da aceitação do sistema pelos usuários. A análise dos resultados obtidos mostrou que 87% dos usuários consideraram o sistema inovador e satisfatório na resolução de problemas de geometria, e uma das ideias dadas pelos usuários, foi a implementação de uma área multiusuário, a fim de melhorar a colaboração dos alunos.

Van Scoy et al. (2005) descrevem a concepção e implementação inicial de um sistema para a construção de modelos táteis de funções matemáticas para exploração com auxílio do dispositivo *Phantom Omni*. Este sistema funciona a partir da introdução de uma função, que é convertida em um modelo para que o usuário possa sentir os limites do gráfico gerado.

Touch Tiles é uma aplicação para ser utilizado por crianças com deficiência visual estudarem geometria. A aplicação desenvolvida por Bussel (2003) utiliza o *mouse Wigman* da *Logitech* para sentir os limites de figuras geométricas. Os testes foram realizados por um adulto totalmente cego, especialista em leitura braile e de gráficos táteis, e 12 crianças parcialmente cegas, porém vendadas, e consistiram em uma série de 10 cenas, para que os usuários pudessem descrever quais figuras geométricas eram exibidas no momento. Os testes mostraram que a experiência do adulto em leitura de gráficos táteis foi fundamental para que ele fosse bem sucedido no desafio. As crianças tiveram mais dificuldades. Um dos pontos importantes dos testes foi a afirmação dos testadores, que os objetos com mais força de retorno facilitavam sua percepção.

3.5 QUÍMICA

Trindade e Fiolhais (2000) descrevem o AV intitulado “*Virtual Water*”, que consiste em uma série de aplicações tridimensionais voltados para o ensino de conceitos moleculares em física e química para alunos do ensino médio. Os dispositivos hápticos utilizados são as luvas de dados *CyberGlove* e *CyberTouch*. As três principais aplicações presentes em “*Virtual Water*” são: (i) o ambiente de formação, utilizado para que o aluno possa se familiarizar com o dispositivo háptico; (ii) o ambiente de mecânica quântica, que objetiva o usuário a construir e conhecer as orbitas e densidades das moleculares; e (iii) o ambiente de dinâmica molecular, que objetiva compreender as propriedades da água.

A ferramenta desenvolvida por Mazza (2011) permite a exploração tátil da superfície eletrostática das moléculas. O autor afirma que o entendimento desta área é de fundamental importância em diversas áreas, como na concepção de novos medicamentos, por exemplo. As interações entre as moléculas são compostas de vários dados (ex. forças de atração ou repulsão dos elementos envolvidos e localização dos pontos de ligação na superfície molecular), estas informações são difíceis de interpretar e por este motivo foi desenvolvido este sistema que utiliza o dispositivo *Phantom Omni* para exploração e visualização da superfície das moléculas. A ferramenta foi testada por vinte alunos e dez professores de química. Cada teste foi realizado com uma molécula diferente, que mudava de complexidade em relação ao número de átomos e quantidade de ligações. Após os testes, cada usuário foi convidado a responder um questionário. A partir das respostas obtidas, conclui-se que o ponto forte da ferramenta é que ela permite combinar a visualização de dados, geralmente disponíveis apenas em formato digital, com as sensações hápticas. O questionário ainda mostra que os alunos apreciaram esta nova abordagem educacional e destacaram a facilidade de assimilar o conteúdo em relação a outras formas de aprendizagem, como apenas a leitura de livros.

3.6 SAÚDE

Abolmaesumi et al. (2004) apresentam um sistema que permite que o usuário visualize a anatomia de um paciente virtual a partir de qualquer orientação e localização desejada em diferentes tipos de exames de imagem como ultrassonografia, tomografia computadorizada e

ressonância magnética. O dispositivo háptico utilizado neste sistema é o *Phantom Omni*. Para o funcionamento do sistema, é necessário ter um banco de imagens previamente preenchido. O *Phantom* é utilizado para movimentar uma sonda de ultrassom graficamente simulado em torno de uma representação tridimensional de uma pessoa. À medida que o usuário move o dispositivo háptico, a imagem do ultrassom também é alterada, possibilitando que o usuário estude a anatomia dos pacientes sem necessariamente interagir com o mesmo. Os testes do sistema foram realizados em um hospital, e o autor afirma que mesmo ainda estando nas fases iniciais do seu desenvolvimento, o sistema demonstra um potencial significativo para fins de treinamento.

Hwang e Kim (2009) desenvolveram um módulo para proporcionar sensações hápticas nas cirurgias realizadas pelo sistema *Da Vinci*. O sistema *Da Vinci* é um sistema cirúrgico robótico projetado para facilitar a realização de cirurgias minimamente invasivas, e é controlado por um cirurgião. Ele é comumente utilizado para reparo de válvulas cardíacas e procedimentos cirúrgicos ginecológicos. A integração é feita com auxílio do *Phantom Omni*.

Machado (2003) desenvolveu o protótipo do primeiro simulador para procedimentos invasivos da América Latina e do primeiro simulador voltado à oncologia pediátrica que se tinha conhecimento até então, na literatura. O desenvolvimento do protótipo contou com a colaboração de profissionais da área médica para identificar as reais necessidades de um sistema de treinamento desse tipo, e um estudo mais aprofundado sobre as propriedades anatômicas da região pélvica do corpo humano (região a qual é retirada a medula óssea), para fornecer uma sensação mais realista para os utilizadores. Este protótipo utiliza o dispositivo *Phantom Omni* para simular a agulha a qual é inserida na pele até o interior do osso, local de onde é extraída a medula óssea. Uma das vantagens da utilização deste tipo de sistema é a não utilização de cobaias (porquinhos-da-índia ou defuntos), pois elas podem receber um número limitado de perfurações e após isso, são inutilizadas. Dentre as questões fornecidas a um médico oncologista para avaliar o sistema, a que obteve menor nota foi a comparação entre a interação real e virtual, pois o dispositivo utilizado apresenta limitações quanto à força máxima de retorno.

Outra aplicação voltada para a área da saúde foi a construção de um *serious games* para a área odontológica, mais especificamente relacionada à higiene bucal para adultos. O jogo desenvolvido por Rodrigues (2011), intitulado “*TouchBrush Game*” tem como objetivo

proporcionar aos seus utilizadores, o ensino da maneira correta de executar o tipo de escovação adotado pelo jogo. A validação da aplicação ocorreu com a presença de um especialista da área da odontologia em todas as etapas do seu desenvolvimento. O dispositivo utilizado pelo *TouchBrush Game* para simular a escova na aplicação, foi o *Phantom Omni*.

DiMaio (2003) mostra o desenvolvimento de uma aplicação para simular a inserção de subcutânea de agulhas na pele, para doações de sangue, por exemplo. Esta aplicação difere de outras aplicações do tipo, pelo fato de alterar a direção da força reação, dependendo de quão mole é a pele virtual, tornando a treinamento muito mais efetivo.

Um protótipo de simulador de suturas foi desenvolvido por Webster et al. (2001). Esta aplicação, desenvolvida para formandos de medicina, consiste em um ambiente em que os médicos podem simular suturas simples para potencialmente melhorar sua técnica. Um dos estudos realizados para a construção deste protótipo foi um estudo aprofundado sobre as características de densidade e resistência da pele ao ser perfurada por agulhas. Este estudo visa evitar uma grande variação de força necessária entre a realização do procedimento real e virtual. Assim como a aplicação anterior para simulação de inserção subcutânea de agulhas na pele, esta aplicação alteram as direções das forças, à medida que o ângulo da agulha muda ou dependendo do local de contato. O dispositivo de interface háptica utilizado neste simulador é o *Phantom Desktop*.

Rosen et al. (2001) apresenta um simulador para treinamento de cirurgias abdominais. O simulador consiste de um ambiente virtual para simular a retira do rim de um paciente. Para desenvolver este trabalho, foi necessário os desenvolvedores estudarem as etapas necessárias para realização deste tipo de cirurgias. O dispositivo háptico utilizado foi o *Phantom* para simular um bisturi utilizado para abrir o abdômen do paciente.

4 DISCUSSÃO

O objetivo geral deste trabalho foi estudar a aplicação de sistemas hápticos no contexto educacional. Para isto, foram estudadas 22 aplicações abrangendo as áreas da educação exibidas na figura 9.

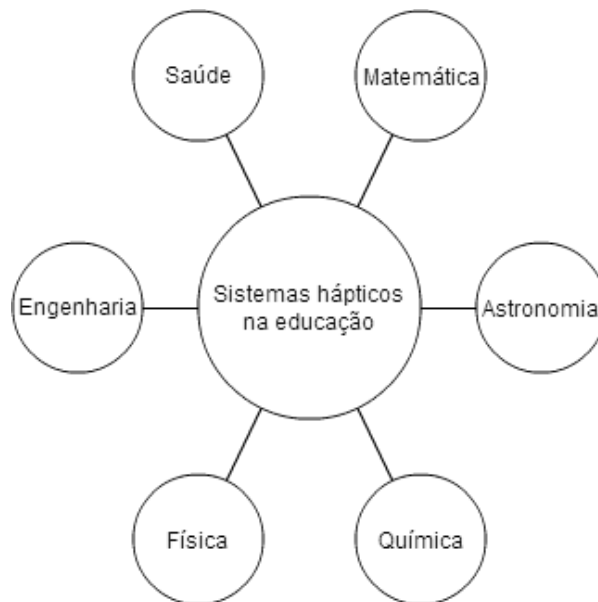


Figura 9 - Áreas da educação exploradas por este trabalho

Dentre as áreas abordadas, foram estudadas três aplicações para ensino de astronomia, três aplicações para engenharia, três aplicações com ênfase nos conceitos de física, quatro aplicações para o ensino de matemática, duas aplicações para o ensino de química e sete aplicações para ensino (estudo ou treinamento) de procedimentos da área da saúde (figura 10).

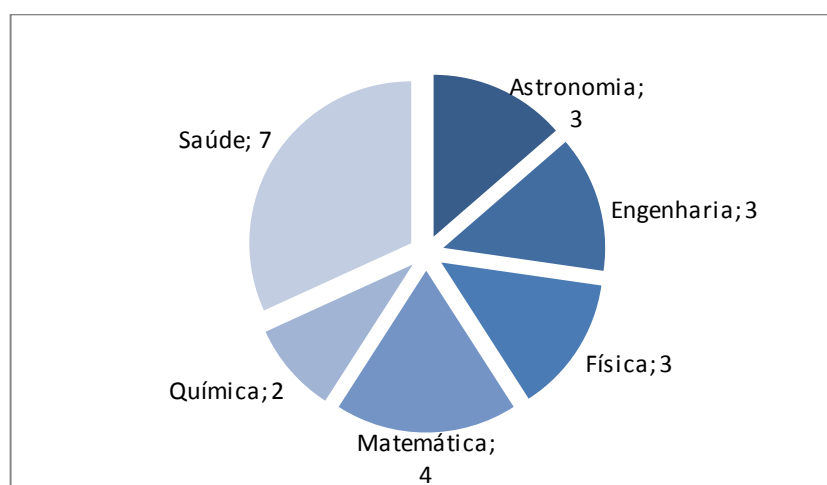


Figura 10 - Quantidade de aplicações por área exploradas por este trabalho

Michael e Chen (2006) afirmam que a saúde é uma das áreas mais abordadas nas pesquisas sobre sistemas hápticos, pois cada vez mais é visada a obtenção de maior precisão na realização dos procedimentos médicos. E estes procedimentos podem ser treinados pelos profissionais através destes ambientes virtuais hápticos, evitando que o profissional coloque o paciente em risco, ao realizar procedimentos os quais não está totalmente apto a realizar, como a aplicação desenvolvida por Rosen et al. (2001), que apresenta um ambiente virtual para simular a retirada do rim de um paciente.

Este trabalho mostrou que um sistema háptico é dividido em duas partes: a parte do *hardware*, consistida pelo dispositivo háptico em si, que possibilita que o usuário interaja com o sistema utilizando o sentido do tato; e a parte do *software*, composta pelas APIs de controle e comunicação dos dispositivos, utilizadas para calcular suas reações. A figura 11 exibe um gráfico que apresenta a variedade de dispositivos hápticos utilizados nas aplicações estudadas. Vale ressaltar que algumas das aplicações abordadas por este trabalho utilizam dois dispositivos hápticos, por este motivo, a soma geral dos dispositivos é maior do que a quantidade de aplicações estudadas.

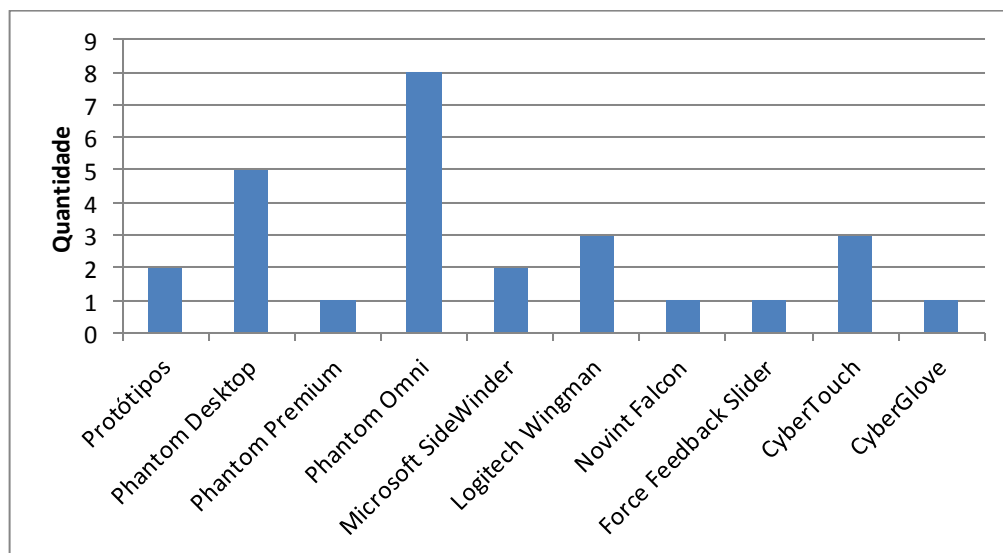


Figura 11 - Gráfico de variedade dos dispositivos hápticos encontrados na pesquisa

A análise na exploração dos dispositivos entre as aplicações é interessante pelo fato de se observar que entre os 25 dispositivos comerciais utilizados (excluindo-se os dois protótipos), 21 são dispositivos com único ponto de interação. Maule (2009) afirma que um dos problemas enfrentados na construção de um sistema háptico, é o alto poder de

processamento háptico necessário (1000 quadros por segundo), por este motivo, os dispositivos com único ponto de interação são mais usados por calcular as forças de um único ponto sem a necessidade de calcular combinações entre os diversos pontos de contato que existem em outros tipos de dispositivos, como as luvas de dados.

Também pôde ser analisado no estudo, que as aplicações que utilizam dispositivos hápticos para interação do usuário com o ambiente, podem ser utilizadas nos mais diversos níveis de aprendizagem. A figura a seguir (figura 12) apresenta quantas das aplicações estudadas foram desenvolvidas para ser utilizadas no ensino fundamental, médio e superior (as três primeiras colunas) ou para capacitação de profissionais, que conta com as aplicações para profissionais se especializarem numa determinada área como simuladores de suturas e de inserção de agulhas na pele [WEBTER et al., 2001; DiMaio, 2003] ou para montagem de equipamentos [LIM et al., 2010], dentre outros.

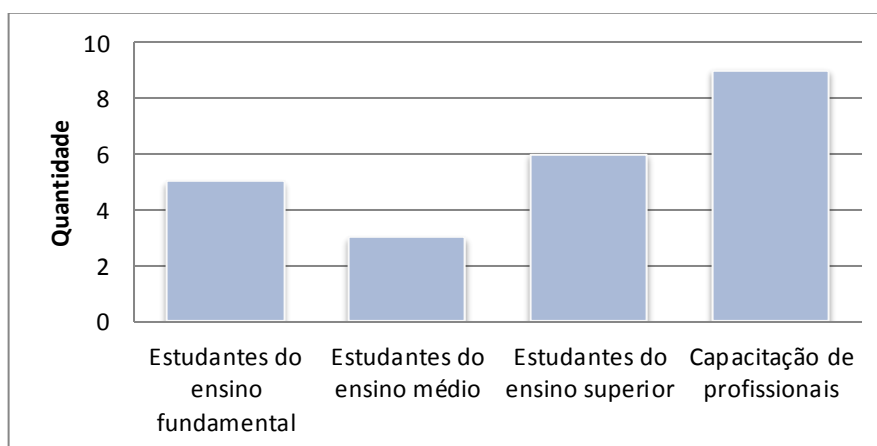


Figura 12 – Gráfico de variedade dos níveis de utilização das aplicações estudadas

A tabela exibida a seguir apresenta as principais características de todas as vinte e duas aplicações abordadas por este trabalho. As características abordadas são: o título e o ano da publicação do trabalho desenvolvido, em qual das áreas abordadas por este trabalho a publicação se encaixa, o tema central da aplicação, o público alvo (nível de aprendizado), também foi analisado se houve algum estudo prévio com algum educador da área explorada pela aplicação e qual foi este estudo, se foi realizado testes e com quem estes testes foram realizados (amostra), os dispositivos háptico utilizados e se está disponível para ser utilizado gratuitamente por terceiros.

Nº	Título	Ano	Área	Aplicação	Público alvo	Estudo prévio	Observações sobre o estudo prévio	Testado	Amostra	Dispositivos	Disponível?
1	Haptics technology in educational applications, a case study	2004	Astronomia	Exploração do sistema solar	Ensino básico	Não	-	Sim	10 crianças no primeiro teste, e o segundo teste não foi contabilizado	IKD H3DI (Desenvolvido para este projeto)	Não informado
2	Large haptic topographic maps: Mars View and the proxy graph algorithm	2003	Astronomia	Exploração da superfície de Marte	Ensino básico	Sim	Desenvolvido com auxílio de dados da NASA	Sim	Não informado	Phantom Desktop e Phantom Premium	Não informado
3	Application of Haptic, Visual and Audio Integration in Astronomy Education	2006	Astronomia	Exploração do sistema solar	Ensino básico	Sim	As características da aplicação foram desenvolvidas por professores	Sim	Professores e alunos do 6º ano	Phantom Omni	Não informado
4	Haptic virtual reality assembly - Moving towards real engineering applications	2010	Engenharia	Simulação de montagem de máquinas / equipamentos	Profissionais da área de montagem de equipamentos	Sim	Investigado como funciona a resposta fisiológica durante interações no mundo real e no mundo virtual em tarefas de montagem	Sim	34 usuários	Phantom Omni e Phantom Desktop	Não informado
5	Haptics-augmented engineering mechanics educational tools	2007	Engenharia	14 aplicações voltadas para o ensino de Física, Estatística e Dinâmica	Ensino superior	Sim	Ideias das aplicações foram desenvolvidas por professores	Sim	64 alunos para as aplicações de física, 15 alunos para as aplicações de estatística e 21 alunos para as aplicações de dinâmica	Microsoft SideWinder e Logitech Wingman	Não informado
6	Simulation and Haptic Devices in Engineering Education	2010	Engenharia	Estudo de forças aerodinâmicas	Ensino superior	Não	-	Sim	Estudantes do primeiro ano de engenharia da computação	Novint Falcon	Não informado
7	Force feedback slider (FFS): Interactive device for learning system dynamics	2005	Física	Lançamento de projéteis	Ensino médio e superior	Não	-	Sim	Não divulgado	Force Feedback Slider (FFS)	Não informado
8	Haptics-augmented simple machines educational tools	2003	Física	Ensino de física em máquinas: parafusos, plano inclinado, alavancas, polias e rodas e eixos	Ensino básico	Sim	Professores de física auxiliaram no desenvolvimento das aplicações	Sim	56 estudantes do ensino básico	Microsoft SideWinder e Logitech Wingman	Online
9	Virtual Lab: Ensino através de laboratórios virtuais	1997	Física	Laboratórios virtuais de física e química para escolas de ensino básico	Ensino básico	Não	-	Não	-	CyberTouch	Não informado
10	A Geometry Education Haptic VR Application Based on a New Virtual Hand Representation	2005	Matemática	Ensino de geometria	Ensino médio	Não	-	Sim	Crianças do ensino médio	CyberTouch	Não informado
11	Haptic display of mathematical functions for teaching mathematics to students with visual disabilities: Design and proof of concept	2001	Matemática	Ensino de matemática	Ensino básico - Alunos com deficiência visual	Não	-	Não	-	Phantom Omni	Não informado

Nº	Título	Ano	Área	Aplicação	Público alvo	Estudo prévio	Observações sobre o estudo prévio	Testado	Amostra	Dispositivos	Disponível?
13	Auditory augmentation of haptic graphs - Developing a graphic tool for teaching precalculus skill to blind students	2005	Matemática	Geração de gráficos	Ensino básico - Alunos com deficiência visual	Não	-	Não	-	Phantom Omni	Não informado
14	Sensory Immersive Microworlds for Science Teaching	2000	Química	Ensino de ligações de moléculas	Ensino médio	Não	-	Não	-	CyberGlove e CyberTouch	Não informado
15	A haptic framework for the study of inter-molecular interactions in chemistry teaching	2011	Química	Estudo das interações intermoleculares	Ensino superior	Sim	Estudo aprofundado das ligações entre moléculas	Sim	20 estudantes e 10 professores de química	Phantom Omni	Não informado
16	A haptic-based system for medical image examination	2004	Saúde	Exames de imagem	Ensino superior	Sim	Foi estudado como funciona os diagnósticos de imagens	Sim	Estudantes de Medicina residentes no Hospital Geral de Kingston	Phantom Omni	Não informado
17	Development of an integrated torque sensor-motor module for haptic feedback in teleoperated robot-assisted surgery	2009	Saúde	Estímulos hápticos em cirurgias assistidas por robôs	Profissionais da área médica (cirurgiões)	Não	-	Não	-	Phantom Desktop	Não informado
18	Aplicando sistemas hápticos em Serious Games: Um Jogo para a Educação em Higiene Bucal	2011	Saúde	Serious games para a educação em higiene bucal	Adultos	Sim	Participação de especialista na área da odontologia em todas as etapas do desenvolvimento da aplicação	Não	-	Phantom Omni	Online
19	A realidade virtual no modelamento e simulação de procedimentos invasivos em oncologia pediátrica: Um estudo de caso no transplante de medula óssea	2003	Saúde	Simulador para treinamento de coleta de medula óssea	Profissionais da área médica (oncologistas pediátras)	Sim	Estudo prévio da anatomia do corpo humano	Sim	Testado por médicos	Phantom Omni	Não informado
20	Needle insertion modeling and simulation	2002	Saúde	Simulador de inserção de agulhas e cateteres	Profissionais da área médica (cirurgiões)	Não	-	Não	-	Protótipo	Não informado
21	A prototype haptic suturing simulator	2001	Saúde	Simulador de suturas	Ensino superior	Sim	Estudo da densidade e resistência da pele	Não	-	Phantom Desktop	Não informado
22	VR simulation of abdominal trauma surgery	1998	Saúde	Treinamento de cirurgias abdominais	Profissionais da área médica (cirurgiões)	Sim	Etapas de um cirurgia abdominal	Não	-	Phantom Desktop	Não informado

Figura 13 - Análise das aplicações estudadas

O estudo mostrou que a grande maioria das aplicações hápticas educacionais estudadas, pelo fato de utilizarem a forma ativa do processo de aprendizagem, mostrou que suas utilizações afetam de forma positiva o ensino de diversos assuntos da educação. Esta informação é corroborada pelos psicólogos Bird e Gil (1987), Lowenfeld et al. (1945), Winn et al. (1982), e confirmada por Minogue e Jones (2006) ao afirmam que existe uma necessidade em adicionar diferentes modos de interação para melhorar a aprendizagem dos alunos.

Dentre os dados abordados pela tabela a seguir os quais ainda não foram discutidos, é possível observar que apenas duas das aplicações estudadas estão disponíveis para serem utilizadas por terceiros. Outro ponto relevante é que 50 por cento das aplicações estudadas foram auxiliadas por profissionais da área da aplicação a ser desenvolvida, o que demonstra uma tentativa dos desenvolvedores de criarem aplicações mais fiéis para os usuários. Esta informação é corroborada por Minogue e Jones (2006) ao afirmarem que:

[...] se armado com as teorias e entendimentos de hápticos construídos por psicólogos e cientistas cognitivos, poderíamos rigorosamente investigar os efeitos do uso das mais recentes tecnologias no campo educacional para criar ambientes de aprendizagem táteis mais ricos [...].

4.1 CONTRIBUIÇÕES

A estimulação dos sentidos em jogos de computador tem sido historicamente limitada aos canais visuais e auditivos. Durante as pesquisas realizadas para este trabalho, foi realizada a integração de um dispositivo háptico, o *Phantom Omni*, a uma ferramenta de desenvolvimento de jogo, *Unity3D*. Esta integração tinha objetivo de demonstrar as etapas necessárias para se criar ambientes imersivos táteis facilmente utilizando uma ferramenta de desenvolvimento de jogos.

O *Unity* é uma ferramenta que facilita a criação do design e desenvolvimento de jogos de computador. Após a conclusão do desenvolvimento do jogo, esta ferramenta também permite a exportação para que seja possível a execução em plataformas *Mac*, *Windows*, navegadores *web* ou dispositivos móveis, tudo a partir da mesma base de código [BENTO, 2011]. O *Unity* possui vários elementos pré-fabricados, como objetos e propriedades físicas,

que podem ser facilmente adicionados e alterados, facilitando o desenvolvimento das cenas. Esta ferramenta também possui um *plug-in* extensível que permite ao desenvolvedor estender as funcionalidades embutidas, possibilitando a criação e vinculação de bibliotecas externas [FYANS e McALLISTER, 2006]. Uma das principais funcionalidades embutidas do *Unity* utilizada por este trabalho foi a detecção de colisão, que em caso de colisão entre dois ou mais dos elementos da cena, disparam métodos para serem executados. As linguagens utilizadas para vincular as funcionalidades do *Unity* com bibliotecas externas, pode ser *UnityScript* (uma linguagem personalizada inspirada no *JavaScript*), *C#* ou *Boo* (linguagem inspirada em *Python*) [UNITY 3D, 2014].

Para integrar o *Phantom Omni* com o *Unity*, foi necessário implementar todos os métodos das bibliotecas *HDAPI* e *HLAPI* da *API Open Haptic* em um *script C++*. Estas bibliotecas contêm os métodos de comunicação e controle que possibilita obter os dados referentes à posição da representação virtual do dispositivo háptico, assim como enviar informações para o dispositivo de modo a gerar os efeitos de atrito, gravidade, entre outros.

Como dito anteriormente, o *Unity* possibilita a vinculação de bibliotecas externas, então, após a implementação dos métodos da *API Open Haptic*, foi implementado o *script C#* que importa os métodos implementados em *C++*, para que seja possível integrar as funcionalidades do *Unity*, com a biblioteca *Open Haptic*. Este *script* utiliza o sistema de detecção de colisão do *Unity*, e em caso de colisão entre o objeto comandado pelo usuário (o1) e outro objeto da cena (o2), executa um método que traça um raio da posição atual do objeto comandado pelo usuário, para o local colidido na superfície do outro objeto. Este raio retorna toda a informação da colisão, como distância e direção, para utilizar o algoritmo *God-Object* para calcular a força de retorno a ser enviada para o *Phantom Omni*, e assim, fornecer o efeito de o utilizador tocar a superfície de objetos (figura 14).

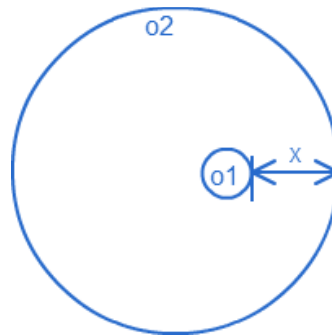
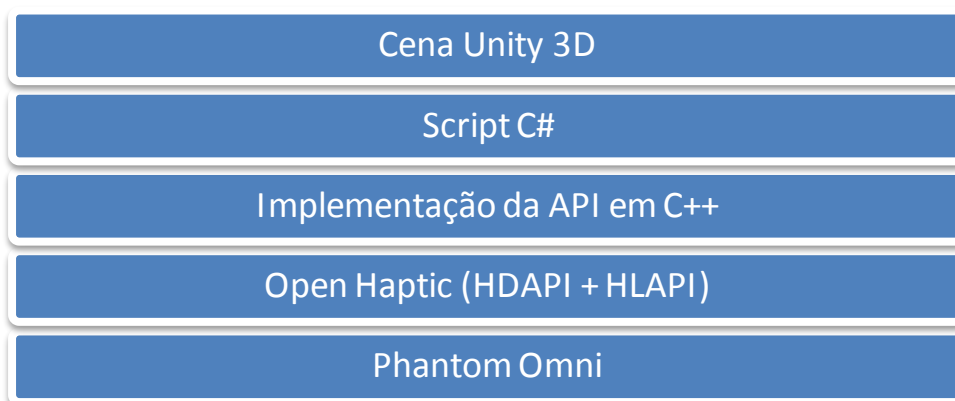


Figura 14 – Simulação do god-object

A figura 15 apresenta a arquitetura utilizada para integrar o dispositivo háptico com o *Unity3D*. O usuário movimenta o *Phantom Omni*, os dados desse movimento são coletados através da *API Open Haptic* pelo *script C++*, que por sua vez enviam estes dados para o *script C#* movimentar o objeto da cena háptica que representa o usuário, ou vice-versa.

Figura 15 - Arquitetura da integração do dispositivo *Phantom Omni* com a ferramenta *Unity 3D*

O protótipo desenvolvido possibilita o usuário tocar superfícies virtuais com o *Phantom Omni*. O ambiente foi criado utilizando a ferramenta de desenvolvimento *Unity* e em conjunto com o dispositivo háptico, o usuário pode sentir a textura, rigidez e forma dos objetos do ambiente à medida que o dispositivo é manipulado. O protótipo dá ao usuário o controle de uma pequena esfera em um ambiente que possui outros três objetos geométricos (uma esfera, um cubo e um cilindro), que não podem ser movimentados na cena. A figura 16 apresenta o ambiente do protótipo desenvolvido. A esfera menor é a esfera que pode ser manipulada pelo usuário.

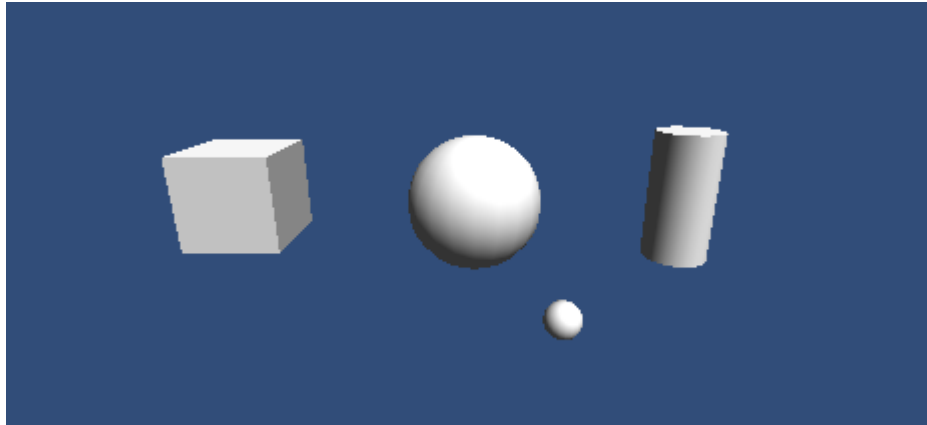


Figura 16 - Ambiente do protótipo desenvolvido

4.2 PERSPECTIVAS FUTURAS

Nos últimos anos houve um grande aumento na quantidade de publicações em todos os aspectos dos sistemas hápticos (Figura 17). Isto se deve ao fato dos sistemas hápticos ainda estarem na fase de concepção [MINOGUE e JONES, 2006].

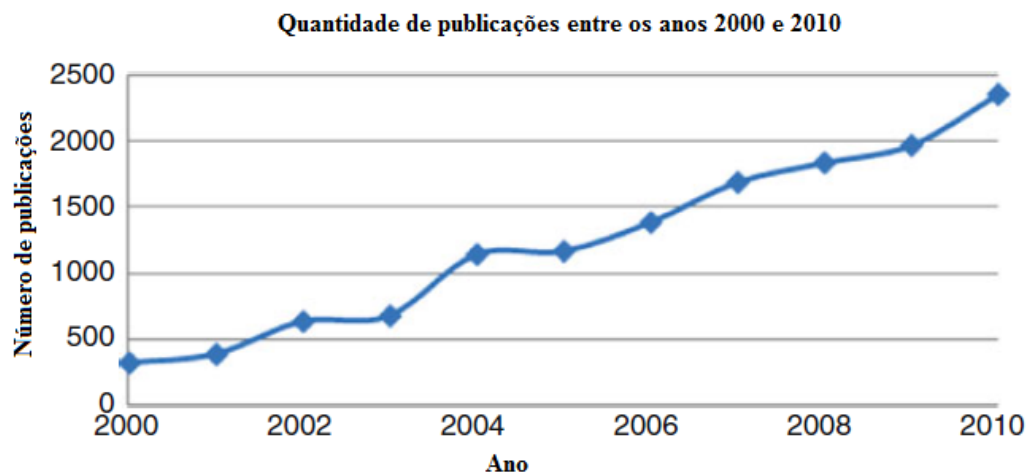


Figura 17 - Quantidade de publicações sobre os sistemas hápticos entre os anos 2000 e 2010 (adaptado de Saddick, 2011).

O avanço na quantidade de pesquisas sobre este tema poderia ser mais bem aproveitado na educação, se houvessem mais pesquisas desenvolvidas por equipes multidisciplinares, pois, assim, seria possível investigar rigorosamente os reais efeitos do uso desta tecnologia para criar ambientes de aprendizagem hápticos mais eficientes [MINOGUE e JONES, 2006].

Para que a utilização destes sistemas seja algo comum dentro das instituições de ensino, há uma necessidade crítica de mais estudos práticos dentro de escolas, para analisar o desenvolvimento cognitivo e comportamental dos alunos que utilizam esta tecnologia. Também é necessário mais pesquisas sobre como os alunos percebem, processam, armazenam e utilizam as informações obtidas através do sentido do tato nos mais variados contextos educacionais. O investimento contínuo e investigação nesta área tem potencial para pagar não só em um entendimento mais completo de como funciona os sistemas hápticos na educação, mas também, em uma análise de novas formas de envolver os alunos de todos os tipos e de todos os níveis na construção ativa de aprendizados mais significativos.

5 CONCLUSÃO

Professores são constantemente encorajados por seus alunos a dar mais exemplos reais (físicos), com o intuito de tornar o conteúdo ensinado mais compreensível e interessante. As formas tradicionais de ensino, tais como exercícios de laboratórios, simulações de *software* e demonstrações em sala de aula são importantes para conectar os conhecimentos teóricos adquiridos, pelos alunos, com a realidade. Porém, mesmo com estas ajudas, alguns conceitos e teorias são muitas vezes difíceis de compreender, quando os alunos não podem sentir os seus efeitos. Para possibilitar uma conexão mais intuitiva entre o mundo o qual vivemos, e vários destes conceitos abstratos, as aplicações que utilizam sistemas hápticos podem ser adicionados dentro das instituições de ensino. Os benefícios desta tecnologia para a educação são evidentes quando se considera as capacidades do sentido do tato do ser humano. Ou seja, a mão, como o principal membro que pode ser usado por este sentido, tem a capacidade de pressionar, agarrar, apertar, explorar as propriedades de objetos, tais como textura da superfície, forma, maciez, além de ser utilizada para manipular ferramentas para reparar equipamentos ou para realizar cirurgias delicadas que necessitam de mais do que apenas a visão para serem concluídas com sucesso. A possibilidade de tocar, sentir, e manipular objetos em um ambiente, além de ver e ouvi-los, proporciona uma maior sensação de imersão, possibilitando que as interações neste ambiente sejam similares as interações com o mundo real, tornando mais completa a experiência nas plataformas computacionais.

Devido à evolução no desenvolvimento de tecnologias de realidade virtual, ambientes de simulação em conjunto com tecnologia háptica, tem acrescentado uma nova dimensão às formas de ensino. Hoje, já é possível observar um aumento na adoção de métodos de ensino auxiliados por computador. A incorporação de dispositivos hápticos em ambientes virtuais de aprendizagem tem capacidade para tornar o ensino mais empolgante e compreensível para os estudantes. Esta tecnologia também é uma excelente ferramenta para o treinamento de profissionais, e na exploração de estruturas tanto do mundo nano, quanto do mundo macro da vida cotidiana. A evolução desta tecnologia tornando-a mais portátil, de alta largura de banda, e com dispositivos com custos mais acessíveis, tem potencial para ajudar os educadores de todos os níveis de aprendizagem.

Este trabalho buscou estudar os conceitos referentes aos sistemas hápticos, para analisar quais áreas da educação podem ser beneficiadas com a implantação aplicações que utilizam estes sistemas para auxilia o ensino. Foram selecionadas 22 aplicações de seis áreas da educação. Dentre as aplicações selecionadas por este trabalho, foram definidos alguns tópicos para analisar as aplicações, como o público alvo, o dispositivo háptico utilizado, os estudos realizados antes do desenvolvimento da aplicação, entre outros. Após a etapa de seleção, foram apresentados todos os resultados obtidos depois de finalizadas as etapas de análise das aplicações hápticas educacionais selecionadas por este trabalho, apresentando um estudo sobre o motivo de alguns dispositivos serem mais explorados que outros e a variedade de fases de aprendizagem que foram exploradas. Esta discussão mostrou como estes sistemas são multidisciplinares e independentes de nível de aprendizagem, favorecendo sua utilização nos mais diversos assuntos.

Por fim, foi desenvolvido um protótipo de uma integração entre um dispositivo háptico e uma ferramenta de desenvolvimento de jogos. Para tal, foram desenvolvidos *scripts* que implementavam os métodos de controle do dispositivo háptico e posteriormente importados na ferramenta de desenvolvimento de jogos. Esta importação possibilitou a criação de um protótipo que permitia que o usuário, com auxílio do dispositivo háptico, pudesse sentir a forma, textura e rigidez dos objetos apresentados na cena construída com a ferramenta de desenvolvimento de jogos.

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Tecnologias para o Ensino Virtual e Estatística (LabTEVE) na Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOLMAESUMI, P.; HASHTRUDI-ZAAD, K.; THOMPSON, D.; TAHMASEBI, A. **A haptic-based system for medical image examination**. In: Proceedings of Engineering in Medicine and Biology Society, p. 1853-1586. 2004.

ACKERMAN, D. **Uma História Natural dos Sentidos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1990. 368p.

ADACHI, Y.; KUMANO, T.; OGINO, K. **Intermediate Representation for Stiff Virtual Objects**. In: Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual Intl. Symposium '95, p. 203-210. 1995.

BARFIELD, W. **The use of Haptic Display Technology in Education**. In: Themes in Science and Technology Education, vol. 2. p. 11-30. 2009.

BASDOGAN, C.; HO, C. -H.; SRINIVASAN, M. A.; SLATER, M. **An experimental study of the role of touch in shared virtual environments**. In: ACM Transactions on Computer-Human Interaction, vol. 7, no. 4, p. 443-460. 2000.

BENTO, J. J. F. **Desenvolvimento e avaliação de um ambiente de aprendizagem 3D**, 2011. 105p. Tese (Mestrado em TIC na Educação e Formação) – Escola Superior de Educação, Instituto Politécnico de Bragança.

BIRD, M.; GILL, G. **Individual differences and technology attributes: an examination of educational technology considerations related to trade and industry training**. In: Australian Journal of Educational Technology 3(2):108–118. 1987.

BIRGLEN, L. **Haptic Devices Based on Parallel Mechanisms. State of the art**. Disponível em: <<http://www.parallemic.org/Reviews/Review003.html>>. Acessado em: Março de 2014.

BRANSFORD, J. D.; BROWN, A. L.; COCKING, R. R. **How people learn: Brain, mind, experience, and school**. 2 ed. Washington, DC: National Research Council. 1999. 385p.

BRO-NIELSEN, M.; HELFRICK, D.; GLASS, B.; ZENG, X.; CONNACHER, H. **VR Simulation of Abdominal Trauma Surgery**. In: Studies in Health Technology and Informatics, p 117-123. 1998.

BURDEA, G.; ZHUANG, J.; ROSKOS, E.; SILVER, D.; LANGRANA, N. **A Portable Dextrous Master with Force Feedback**. Presence: Teleoperators and Virtual Environments: 1(1), pp 18-28. 1992.

BURDEA, G. C. **Haptic Feedback for Virtual Reality**. Rutgers University, New Jersey, USA. 1999.

BURDEA, G.; COIFFET, P. **Virtual Reality Technology**. 2 ed. Wiley IEEE Press. 2003. 464p.

BUSSEL, L. **Touch Tiles - Elementary geometry software with a haptic auditory interface for visually impaired children**. In: Proceedings of the First International Conference on Haptic and Audio Interaction Design, p. 81-91. 2003.

DEMETERCO, J.; ALCÂNTARA, P. **O mundo virtual como ferramenta interativa no ensino-aprendizagem colaborativo**. In: Comunicar, n. 23, p. 77-81. 2004.

DiMaio, S. P. **Needle Insertion Modeling and Simulation**. In: IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 19, no 15, p. 2098-2105. 2003.

DRUYAN, S. **Effect of the kinesthetic conflict on promoting scientific reasoning**. In: Journal of Research in Science Teaching, 34, 1083-1099. 1997.

FAUST, M.; YONG-HO, Y. **Haptic Feedback in Pervasive Games**. In: Third International Workshop on Pervasive Gaming Applications, PerGames, Ireland. 2006.

FYANS, A. C.; McALLISTER, G. **Creating Games with Feeling**. In: 5th IEEE Consumer Communications and Networking Conference, Las Vegas, NV. 2006.

GEOMAGIC. Disponível em: <<http://geomagic.com/>>. Acessado em Fevereiro de 2014.

GOERTZ, R. C. **Fundamentals of General-Purpose Remote Manipulators**. In: Nucleonics, vol 10, no 11, p 36 – 42. 1952.

GOERTZ, R. C. **Manipulator systems development at ANL**. In: Proceedings of 12th Conference on Remote System Technology, p 117 – 136. 1964.

GROW, D.; VERNER, L. N.; OKAMURA, A. M. **Educational Haptics**. In: AAAI Spring Symposium Series Paper. 2006.

GUNN, C. **Using Haptics in a Networked Immersive 3D Environment**. 2007. 270p. Tese (Doutorado em Filosofia), Escola de Ciência da Computação e Engenharia de Software, Universidade de Western, Australia.

HWANG, J.-H.; KIM, B. **Development of an integrated torque sensor-motor module for haptic feedback in teleoperated robot-assisted surgery**. In: IEEE International Conference on Technologies for Practical Robot Applications (TEPRA), Woburn, MA. pp 10-15. 2009.

IMMERSION CORPORATION. Disponível em: <www.immersion.com>. Acessado em Março de 2014.

JONES, M. G.; MINOGUE, J.; TRETTER, T. R.; ATSUKO, N.; TAYLOR, R. **Haptic Augmentation of Science Instruction: Does Touch Matter?**. Science Education 90, pp. 111-123. 2005.

KLATZKY, R. L.; LEDERMAN, S. J. **Touch**. In I. B. Weiner (Series Ed.), A. F. Healy, & R. W. Proctor (Vold. Eds.), Handbook of Psychology: Vol. 4. Experimental psychology (pp. 147-176). New York: Wiley. 2002.

KRETZ, A.; HUBER, R.; FJELD, M. **Force Feedback Slider (FFS): Interactive device for learning system dynamics**. In: Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, pp. 457-458. 2005.

LIM, T.; RITCHIE, J. M.; SUNG, R.; KOSMADOUDI1, Z.; LIU, Y.; THIN, A. G. **Haptic virtual reality assembly - Moving towards real engineering applications**. In: InTech. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/advances-in-haptics/haptic-virtual-reality-assembly-moving-towards-real-engineering-applications>>. Acessado em: Março de 2014.

LINN, M. C. **Technology and science education: Starting points, research programs, and trends**. International Journal of Science Education, 26, 727-758. 2003.

LOPES, D.; CARVALHO, C. V. **Simulation and Haptic Devices in Engineering Education**. Instituto Superior de Engenharia do Porto, p. 159-162. 2010.

LOWENFELD, V. **Tests for visual and haptical aptitudes**. In: American Journal of Psychology 58:100–112. 1945.

MACHADO, L. S. **A realidade virtual no modelamento e simulação de procedimentos invasivos em oncologia pediátrica - Um estudo de caso no transplante de medula óssea**. 2003. 130p. Teste (Doutorado em Engenharia), Universidade de São Paulo.

MACHADO, L. S. **Dispositivos Hápticos para Interfaces de Realidade Virtual e Aumentada**. In:___Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações. Rio de Janeiro, 2007. p. 152-163.

MAULE, M. **Aceleração da Deformação Interativa de Corpos Sólidos Usando GPU**. 2009. 43p. Dissertação (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MAZZA, D. **A Haptic Framework for the study of inter-molecular interactions in chemistry teaching**. In: Proceedings of Conference ICL, p. 1021-1028. Hasselt, Belgium. 2010.

MICHAEL, D.; CHEN, S. **Serious Games that educate, train and inform**. 1 ed. Course Technology PTR. 2006. 352p.

MINOGUE, J.; **Getting a “Feel” for Serious Games**. In: L.A. Annetta (Ed.), Serious educational games, pp. 73-81. Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishing. 2008.

MINOGUE, J.; Jones, M. G. **Haptics in education: Exploring an untapped sensory modality**. Review of Educational Research, 76 (3), 317-348. 2006.

MORRIS, D.; TAN, H. Z.; BARBAGLI, F.; CHANG, T.; SALISBURY, K. **Haptic Feedback Enhances Force Skill Learning**. In: Proceedings of the 2007 World Haptics Conference, Tsukuba, Japan. 22-24. 2007.

MOUSTAKAS, K.; NOKOLAKIS, G.; TZOVARAS, D.; STRINTZIS, M. G. **Geometry education haptic VR application based on a new virtual hand representation.** In: Proceedings IEEE Virtual Reality, March 12-16, pp. 249 - 252. 2005.

NAM, C., SHAFIELOO, I. **Haptic Virtual Environments as a Science Learning Supporting Tool: A Preliminary Study.** In: Education and Technology, p. 28-39. Berlin. 2008.

NETTO, A. V.; MACHADO, L. S.; OLIVEIRA, M. C. F. **Realidade Virtual - Fundamentos e Aplicações.** Visual Books, Florianópolis. 2002.

NIY, L.; KRZEMINSKIZ, M.; TUERZ, K. **Application of Haptic, Visual and Audio Integration in Astronomy Education.** In: IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and their Applications, p. 152-156. 2006.

NOVINT TECHNOLOGIES Inc. Disponível em: <<http://novint.com>>. Acessado em Fevereiro de 2014.

PANTELIOS, M.; TSIKNAS, L.; CHRISTODOULOU, S.; PAPATHEODOROU, T. **Haptics Technology in Education Applications, a case study.** In: Journal of Digital Information Management, 2(4), p. 171-179. 2004.

PAWLAK, A. M. **Sensors and actuators in mechatronics: Design and applications.** Taylor and Francis, Connecticut, USA. 2007. 377p.

PEREIRA, C.; et al. **Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) – Uma proposta inovadora para os cursos de engenharia.** In: XIV SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção, São Paulo - Unesp. 2007.

REIMER, E.; BALDWIN, L. **Cavity sensor technology for low cost automotive safety & control devices.** In: Proceedings of the Air Bag Technology'99, p. 1-11. Cobo Convention Center, Detroit. 1999.

RODRIGUES, C. E. M. **Um Dispositivo Háptico de Auxílio à Navegação para Deficientes Visuais,** 2006. 63p. Dissertação (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Pernambuco.

RODRIGUES, H. F. **Aplicando Sistemas Hápticos em Serious Games: Um jogo para a Educação em Higiene Bucal**, 2011. 93p. Dissertação (Mestrado em Informática) – Programa de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal da Paraíba.

SADDICK, A. E.; OROZCO, M.; EID, M.; CHA, J. **Haptics Technologies: Bringing Touch to Multimedia**. Springer Series on Touch and Haptic Systems. 2011. 230p.

SALISBURY, J. K.; SRINIVASAN, M. A. **Phantom-based haptic interaction with virtual objects**. In: IEEE Computer Graphics and Applications: 17, pp 6-10, 1997.

SILVA, J. B. **A utilização da experimentação remota como suporte para ambientes colaborativos de aprendizagem**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Universidade Federal de Santa Catarina.

TAN, H.; PENTLAND, A. **Tactual displays for sensory substitution and wearable computers**. In: International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, no 15, 305-315. 2005.

TRAUER, E.; LUZ, R. P. **Virtual Lab: Ensino através de Laboratórios Virtuais**. In: Anais do 1º workshop de Realidade Virtual '97, p. 130-137. 1997.

TRINDADE, J. F.; FIOLHAIS, C. **Sensory Immersive Microworlds for Science teaching**. In: Workshop de Realidade Virtual, p. 289-290. 2000.

UNITY3D. Disponível em: <<http://unity3d.com>>. Acessado em abril de 2014.

VAN SCOY, F.; MCLAUGHLIN, D.; FULLMER, A. **Auditory augmentation of haptic graphs: developing a graphic tool for teaching pre-calculus skill to blind students**. In: Proceedings of the International Conference on Auditory Display, vol. 5. Limerick, Ireland. 2005.

WALKER, S. P.; SALISBURY, J. K. **Large Haptic Topographic Maps: MarsView and the Proxy Graph Algorithm**. In: Proceedings of the Symposium on Interactive 3D Graphics, p. 83-92. 2003.

WEBSTER, R. W.; ZIMMERMAN, D. I.; MOHLER, B. J. **A prototype haptic suturing simulator**. In: Medicine Meets Virtual Reality, p. 567-569. 2001.

WILLIAMS II, R. L.; CHEN, M. -Y.; SEATON, J. M. **Haptics-Augmented Simple Machines Educational Tools**. In: Journal of Science Education and Technology, vol 12, pp 16-27. 2003.

WILLIAMS II, R. L.; HE, X.; FRANKLIN, T.; WANG, S. **Haptics-augmented engineering Mechanics Education Tools**. In: World Transactions on Engineering and Technology Education, vol. 6, no 1, p. 27-30. 2007.

WINN, W. **Visualization in learning an instruction: a cognitive approach**. In: Educational Communications and Technology Journal 30(1):3-25. 1982.

ZILLES, C. B. **Haptic Rendering with the Tool handle Haptic Interface**. 1995. 46p. Dissertação (Bacharelado em Ciência da Engenharia Mecânica), Massachussets Institute of Technology.

ZILLES, C. B.; SALISBURY, J. K. **A constraint-based god-object method for haptic display**. In: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Human Robot Interaction, and Cooperative Robots, vol. 3, p. 146-151. 1995.