

Simulador em Realidade Virtual para Aprendizagem da Física

Luciano Filipe Oliveira Neves dos Santos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Informática, Área de Especialização em Sistemas Gráficos e Multimédia

Orientador: Prof. Doutor Carlos Vaz de Carvalho

Júri:

Presidente:

Doutor João Paulo Jorge Pereira, DEI / ISEP

Vogais:

Doutor Francisco José Serón Arbeloa, Universidade Zaragoza

Doutor Carlos Miguel Miranda Vaz de Carvalho, DEI / ISEP

Porto, Outubro 2013

Resumo

A forma como aprendemos depende do contexto tecnológico e sociocultural que nos rodeia, actualmente a inclusão de tecnologia recente na sala de aula não é mais considerada opcional, mas sim uma necessidade pois a forma como o aluno aprende está em constante evolução.

Tendo em atenção esta necessidade, foi desenvolvido no decorrer desta tese um simulador em realidade virtual que utiliza comandos/interfaces hápticos. O objectivo deste simulador é ensinar conceitos de física de forma interactiva. Os dispositivos hápticos permitem adicionar o sentido táctil ou de toque à interacção entre homem e máquina, permitindo assim aceder a novas sensações relativas ao seu uso nomeadamente com objectivos de aprendizagem.

O simulador desenvolvido designado por “Forces of Physics” aborda três tipos de forças da física: forças de atrito, forças gravitacionais e forças aerodinâmicas. Cada tipo de força corresponde a um módulo do simulador contendo uma simulação individual em que são explicados conceitos específicos dessa força num ambiente visual estimulante e com uma interacção mais realista devido à inclusão do dispositivo háptico Novint Falcon.

O simulador foi apresentado a vários utilizadores bem como á comunidade científica através de apresentações em conferências. A avaliação foi realizada com recurso a um questionário com dez perguntas, cinco de sobre aprendizagem e cinco sobre a utilização, tendo sido preenchido por 14 utilizadores. O simulador obteve uma boa recepção por parte dos utilizadores, tendo vários utilizadores expressado as suas opiniões sobre estado actual do simulador, do futuro do mesmo e da respectiva validade para uso na sala de aula.

Palavras-chave: Háptico, Simulação, Física.

Abstract

The way we learn depends on the technological and socio-cultural context that surrounds us, nowadays the inclusion of recent technology in the classroom is no longer considered optional, but a necessity since the way a student learns is constantly evolving.

Taking into account this need, a simulator was developed in the course of this thesis that makes use of virtual reality haptic interfaces. The purpose of this simulator is to teach physics concepts interactively. Haptic devices allow you to add tactile sense of or touch to the interaction between man and machine, allowing access to new sensations regarding their use with particular learning objectives.

The simulator developed called "Forces of Physics" addresses three types of forces of physics: friction forces, gravitational forces and aerodynamic forces. Each type of force has a corresponding simulator module containing an individual simulation in which specific concepts of that force are explained in a stimulating visual environment with a more realistic interaction due to the inclusion of the haptic device Novint Falcon.

The simulator was presented to multiple users as well as to the scientific community through presentations at conferences. The evaluation was conducted using a questionnaire with ten questions, five related to learning and five related to usability, 14 records have been filled by users. The simulator got a good reception from users, with several users expressing their views on the current state of the simulator, the future of it and of its validity for use in the classroom.

Keywords: Haptics, Simulation, Physics.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Carlos Vaz de Carvalho, pela orientação e aconselhamento no desenvolvimento desta tese. Agradeço também aos meus amigos David Gouveia, António Andrade, Ana Fernandes, Bruno Azeredo, Pedro Russo, Ivo Santos e Odair Oliveira pelo apoio prestado durante a realização da tese.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Objectivos	2
1.2	Motivação	2
1.3	Estrutura da Dissertação	3
2	Estado da Arte	5
2.1	Realidade Virtual e Realidade Aumentada	5
2.1.1	Dispositivos de Realidade Aumentada	7
2.1.2	Dispositivos de Realidade Virtual de 360 graus	10
2.1.3	Dispositivos Hápticos	11
2.2	Simuladores	22
2.2.1	Simuladores de Voo / Flight Simulation Training Devices (FSTD)	23
2.2.2	Simuladores exploração de recursos	24
2.3	Simuladores hápticos de para aprendizagem da Física	26
3	Forces of Physics	28
3.1	Modelo Conceptual	28
3.1.1	Diagrama de transição de janelas do simulador	29
3.1.2	Módulo de Forças de Atrito	30
3.1.3	Módulo de Forças Gravitacionais	33
3.1.4	Módulo de Forças Aerodinâmicas	35
3.2	Descrição técnica do simulador	42
3.2.1	Suporte multilíngue	42
3.2.2	Estrutura dos recursos	43
3.2.3	Diagrama de classes	44
3.2.4	Novint Falcon API	45
3.2.5	Sistema de Janelas	46
3.2.6	Elementos adicionados a Janelas	48
3.3	Manual de Utilização	55
3.3.1	Instalador	57
3.4	Avaliação	60
3.4.1	Avaliação do questionário	61
3.4.2	Avaliação da apresentação do simulador em conferências	66
4	Conclusão	67

Lista de Figuras

Figura 1 Escala das realidades de Milgram. [Turbulence, 2011]	5
Figura 2 Escala das realidades exemplificada por aplicações. [Ataja, 2011]	6
Figura 3 Mãos no mundo real [Uni-muenster, 2013]	6
Figura 4 Mãos inseridas no mundo virtual [Uni-muenster, 2013b].....	7
Figura 5 Realidade Aumentada no Google Glass. [Massnewsmedia, 2013]	8
Figura 6 HUD in a BMW E60. [Affemitwaffe, 2008]	9
Figura 7 Utilização do Wikitude perto da estátua da liberdade. [Skyscanner]	9
Figura 8 Demonstração da tecnologia CAVE. [Worldviz, 2012].....	10
Figura 9 Demonstração do US Army Research Lab's ODT. [HRED ARL, 2007]	10
Figura 10 VirtuSphere VR. [Extremetech, 2012].....	11
Figura 11 Oculus Rift. [Blogspot, 2013]	11
Figura 12 Representação de contacto de Vicent van Gogh. [Wikipaintings, 2007]	11
Figura 13 Manuseamento do interface háptico Novint Falcon. [Virtualworldlets, 2012]	12
Figura 14 Maglev 200 da companhia Butterfly Haptics. [Butterflyhaptics, 2013]	13
Figura 15 Demonstração de uso do ZeroN [DigitalTrends, 2013]	13
Figura 16 Quanser 5 ligado a um componente robótico. [Imath-asia, 2013]	14
Figura 17 Novint Falcon. [Gstatic, 2013]	14
Figura 18 Demonstração de uso do Phantom Omni. [Axis3d, 2013]	15
Figura 19 Super Haptics -Hiroyuki Shinoda. [Physorg, 2009]	15
Figura 20 Tipos de actuators. [Edn-europe, 2013]	15
Figura 21 Explicação do Vivitouch Device Shaker. [Vivitouch, 2013b]	17
Figura 22 Explicação do Vivitouch Moving Touch Sensor. [Vivitouch, 2013a].....	17
Figura 23 Execução de “Haptic Effect Preview” [Staztic, 2013]	18
Figura 24 Execução de “Haptic Muse” [Ggpht, 2013].....	19
Figura 25 Cinto Háptico [Blogcdn, 2011].....	20
Figura 26 Colete háptico de apoio a cegos [Dvice, 2012]	20
Figura 27 Colete Háptico de jogo [Singularityhub, 2010]	20
Figura 28 CyberGrasp com CyberGlove II [Uni-paderborn, 2013].....	21
Figura 29 Painel háptico – “The Sound of Materials”. [Concepthunter, 2013].....	21
Figura 30 Uso de simulador de voo na NASA. [Cooper, 2010]	23
Figura 31 Microsoft Flight Simulator 2000. [Pcgameshardware, 2009]	24
Figura 32 Microsoft Flight Simulator joystick. [Itreviews, 2012]	24
Figura 33 exemplos de utilização do SHRIV [Ncesubsea, 2012]	25
Figura 34 Demonstração do SHIVR. [Pennwellnet, 2013]	25
Figura 35 Os cinco sentidos humanos [Microbemagic, 2013].....	26

Figura 36 Principais estilos de aprendizagem [New-edge, 2013]	26
Figura 37 Uso do Falcon no simulador.	28
Figura 38 Diagrama de Janelas.....	29
Figura 39 Execução do módulo de fricção	32
Figura 40 Força gravitacional [Nilsson, 2008]	33
Figura 41 Execução do módulo de Gravitação.....	34
Figura 42 Exemplificação das forças aerodinâmicas	35
Figura 43 Exemplificação do ângulo de ataque [Dlouhý, 2003]	35
Figura 44 Formatos de asas da aeronave. [Grigio, 2008]	37
Figura 45 Explicação visual de aspect ratio. [Sciencelearn, 2013]	38
Figura 46 Demonstração do conceito de Arfagem/Pitch.	40
Figura 47 Demonstração do conceito de Guinada / Yaw.	40
Figura 48 Demonstração do conceito de Rolagem / Roll.	40
Figura 49 Execução do módulo de Forças aerodinâmicas.....	41
Figura 50 Seleccção de idioma.....	42
Figura 51 Estrutura de pastas da pasta de recursos “Modules”	43
Figura 52 Diagrama de classes do projecto	44
Figura 53 Indicador de pausa	46
Figura 54 Indicadores do carregamento.....	48
Figura 55 Imagem do símbolo de Load.....	48
Figura 56 Frustum de uma câmara. [Acm, 2013].....	50
Figura 57 Exemplo de NSIS.....	57
Figura 58 Visualização do conteúdo de app.zip usando WinRAR	58
Figura 59 Escolha de idioma de instalação	59
Figura 60 Exemplo de uma pergunta de avaliação no LimeSurvey.	60
Figura 61 Resultados da primeira pergunta de conhecimentos.	61
Figura 62 Resultados da segunda pergunta de conhecimentos.	62
Figura 63 Resultados da terceira pergunta de conhecimentos.	62
Figura 64 Resultados da quarta pergunta de conhecimentos.....	63
Figura 65 Resultados da quinta pergunta de conhecimentos.	63
Figura 66 Resultados da primeira pergunta de usabilidade.	64
Figura 67 Resultados da segunda pergunta de usabilidade.	64
Figura 68 Resultados da terceira pergunta de usabilidade.	65
Figura 69 Resultados da quarta pergunta de usabilidade.	65

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Tipos de componentes hápticos de vibração	16
Tabela 2 – Comparação de características dos tipos de actuadores	16
Tabela 3 – Comparação de preços de alguns dispositivos hápticos	22
Tabela 4 – Tabela de Coeficientes de atrito do módulo de fricção	31
Tabela 5 – Identificação de formatos de asa de aeronaves	37
Tabela 6 – Cuidados a ter com a ligação do dispositivo háptico	56
Tabela 7 – Configuração geral de teclas.....	56
Tabela 8 – Funções das setas.....	56
Tabela 9 – Conteúdo do instalador Forces_Of_Physics_StandAlone_Installer.exe	57
Tabela 10 – Secção perguntas sobre Física	60
Tabela 11 – Secção avaliação do simulador	61

Lista de Código

Código 1 – Estados de janela	46
Código 2 – Criação de imagens normais sem transparência	48
Código 3 – Criação de imagens com transparência	49
Código 4 – Criação de texto	50
Código 5 – Criação de câmara	50
Código 6 – Criação de objectos 3D.....	51
Código 7 – Criação de objectos hápticos 3D.....	51
Código 8 – Secção de update do objecto avião	52
Código 9 – Criação e uso de gestor de Luzes.....	53
Código 10 – Criação de um sistema de partículas	54
Código 11 – Criação de skyboxes	55
Código 12 – Criação de gestor de sons.....	55
Código 13 – Uso de gestor de sons	55

Lista de Anexos

Anexo 1 - Artigo Exp.at'13	75
Anexo 2 - Artigo ECGBL	77
Anexo 3 - Poster ECGBL	83

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

API	<i>Application programming interface</i>
AR	<i>Augmented Reality</i>
AV	<i>Augmented Virtuality</i>
CAVE	<i>Cave Automatic Virtual Environment</i>
DDS	<i>DirectDraw Surface</i>
DOF	<i>Degrees of freedom</i>
EAP	<i>Electroactive Polymer</i>
ERM	<i>Eccentric Rotating Mass</i>
FSTD	<i>Flight Simulation Training Devices</i>
GAVIOTA	<i>Grupos Académicos para la Visualización Orientada por Tecnologías Apropriadadas</i>
GILT	<i>Graphics Interaction and Learning Technologies</i>
HDAL	<i>Haptic Device Abstraction Layer</i>
HMD	<i>Head Mounted Display</i>
HUD	<i>Head Up Display</i>
ISEP	<i>Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
LRA	<i>Linear Resonant Mass</i>
MEMS	<i>Microelectromechanical systems</i>
MR	<i>Mixed Reality</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NSIS	<i>Nullsoft Scriptable Install System</i>

ODT	<i>Omnidirectional Treadmill</i>
OHMD	<i>Optical head-mounted display</i>
OSS	<i>Open-source Software</i>
QR Code	<i>Quick Response Code</i>
SDK	<i>Software development kit</i>
SHIVR	<i>StatoilHydro Integrated Virtual Reality</i>
SR-71	<i>Strategic Reconnaissance - 71</i>
TGV	<i>Tactile Gaming Vest</i>
VAK	<i>Visual, Auditory and Kinaesthetic</i>
VR	<i>Virtual Reality</i>
VRD	<i>Visual Retinal Display</i>
XSL	<i>Extensible Stylesheet Language</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

Lista de Símbolos

α	Ângulo de ataque
μ_e	Coefficiente de atrito estático
μ_c	Coefficiente de atrito cinético
G	Constante Gravitacional
g	Constante aceleração da gravidade
π	Pi

1 Introdução

“The object of education is to prepare the young to educate themselves throughout their lives”.

Robert Maynard Hutchins

A utilização de novas tecnologias aplicadas à educação tem sido incentivada em anos recentes, devido à necessidade da formação evoluir de forma a acompanhar o aluno moderno. Quanto mais não seja pelo facto de este ter acesso a tecnologias que até há uns anos não dispunha, por exemplo, através dos programas Magalhães (ensino primário) ou E-Escola (ensino Básico e Secundário).

Hoje em dia, pretende-se fornecer conteúdos educativos que façam uso destas novas plataformas tecnológicas, quebrando-se um certo “tabu” relativamente à proibição do uso de tecnologia na sala de aulas. Estes conteúdos devem ser capazes de assistir escolas e professores e facilitar a transição do seu modo de ensino para servir e educar uma “sociedade do conhecimento”.

Estes novos conteúdos educativos aproveitam, de forma inteligente, todas as tecnologias disponíveis actualmente. Uma das áreas mais interessantes em desenvolvimento é a da criação e uso de simuladores de realidade virtual hápticos, dado que permitem um contexto muito mais interactivo que vai além dos livros e cadernos, sendo por isso mais atractivos como ferramenta de estudo para os alunos. Especialmente aqueles que podem ser definidos como aprendizes “tácteis”, porque tendem a aprender melhor quando realizam tarefas manuais [Gillespie and Okamura, 2008].

Estes simuladores permitem perceber determinados conceitos pela afinidade entre a realidade virtual e a realidade física, sendo por isso possível relacionar e compreender conceitos da física [Park et al., 2001].

Esta dissertação pretendeu conceber, desenvolver e testar um simulador de realidade virtual que permite experimentar/sentir várias forças da Física como a força de atrito, forças aerodinâmicas e forças gravitacionais. Para dar mais realismo à interacção pessoa-máquina o simulador usa um interface háptico.

1.1 Objectivos

O objectivo principal deste trabalho relaciona-se o desenvolvimento de uma aplicação gráfica modular com capacidades hápticas como meio funcional de aprendizagem. Deve ser capaz de simular várias forças do mundo físico: forças de fricção, forças gravitacionais e forças aerodinâmicas. A aplicação tem finalidades educativas e pretende que os seus utilizadores sejam capazes de sentir as forças aplicadas, e que sejam capazes de relacionar as noções e conceitos obtidos através do uso dos simuladores com os seus conhecimentos da sala de aula. Em paralelo, pretende-se fazer uma pesquisa sobre o estado da arte nas áreas de conhecimento relevantes para o desenvolvimento do objectivo principal. O objectivo final corresponde à avaliação dos conhecimentos adquiridos com a utilização do simulador desenvolvido e a avaliação do seu uso, realizada com recurso a questionários junto dos utilizadores.

1.2 Motivação

Durante os meus anos de estudo tive várias dificuldades na aprendizagem de determinados conceitos da física, por isso tenho o desejo de ajudar outros a compreender e perceber esta ciência de forma mais acessível. O facto de poder utilizar os conhecimentos obtidos durante a minha graduação e no decorrer do Mestrado em Sistemas Gráficos e Multimédia no desenvolvimento de software inovador para atingir esse fim, é algo magnífico, o trabalho desenvolvido permitiu a obtenção de experiência pessoal técnica no desenvolvimento de aplicações gráficas avançadas desde a sua concepção inicial até a obtenção de um produto completo.

A dissertação foi desenvolvida no GILT (Graphics Interaction and Learning Technologies), sendo este um centro de investigação afecto ao ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto) que tem como objectivos o desenvolvimento de novas formas de aprendizagem e o desenvolvimento de formas interação com conteúdos de carácter educativo, com recurso a tecnologias de informação. Integra-se num dos projectos do grupo, o projecto ALFA GAVIOTA que tem como objectivo precisamente desenvolver aplicações baseadas em Realidade Aumentada e/ou Virtual com fins educativos ou de desenvolvimento social.

1.3 Estrutura da Dissertação

A dissertação encontra-se dividida em quatro capítulos. O primeiro capítulo contém uma introdução contendo vários aspectos como Objectivos, Motivação, e a estrutura geral do documento.

O segundo capítulo contém o levantamento do Estado da Arte, descrevendo também o meio tecnológico envolvente que levou à criação do projecto, o passado e o futuro do desenvolvimento de simuladores e de interfaces hápticos, e uma descrição sobre os elementos da física contemplados pelo projecto.

O terceiro capítulo refere-se à fase de desenvolvimento do simulador e debruça-se sobre aspectos Conceptuais e Tecnológicos, tais como o conceito geral, ferramentas, elementos do desenvolvimento do projecto, e iterações relativas ao mesmo, a forma como o trabalho desenvolvido foi avaliado.

O último capítulo refere as conclusões e avaliações finais do projecto.

Existe uma secção de anexos contendo dois artigos e um poster resultantes deste trabalho e que foram apresentados em conferências.

2 Estado da Arte

A forma como aprendemos depende do nosso meio envolvente e da quantidade de conhecimento que existe, e por isso as formas de obtenção de informação têm que acompanhar a evolução dos tempos. Hoje em dia o uso das novas tecnologias na educação não é mais algo descabido mas uma verdadeira necessidade dado que os jovens procuram e recolhem informação sobretudo em meios tecnológicos e não tanto em livros e sala de aula. O ensino deve acompanhar essa tendência devendo ser capaz de fornecer conteúdos educativos interactivos e capazes de estimular a aprendizagem das novas gerações.

Para uma melhor contextualização do projecto em termos de funcionalidades e expectativas de desenvolvimento foi realizado um levantamento de conceitos, dispositivos e tecnologias existentes, Um dos propósitos do projecto era confirmar a validade de simulações hápticas como meio de ensino, perceber as expectativas geradas por este tipo de aplicações nos utilizadores, e perceber de que forma se pode melhorar / facilitar a aprendizagem dos utilizadores de certos conceitos científicos.

2.1 Realidade Virtual e Realidade Aumentada

A continuidade Realidade-Virtualidade (Reality-Virtuality Continuum) proposta por Milgram [Milgram et al., 1995] reflecte a forma como percebemos a realidade que nos rodeia utilizando os nossos sentidos quando essa realidade contém elementos reais e/ou elementos gráficos gerados por computador. O continuum Realidade-Virtualidade (ver Figura 1) define as interacções do utilizador com o meio envolvente em três modos: realidade física, realidade mista e a realidade virtual.



Figura 1 Escala das realidades de Milgram. [Turbulence, 2011]

A **realidade física** engloba o ambiente envolvente que existe no mundo real composto por objectos físicos.

A **realidade mista** inclui todos os tipos de realidade que não correspondem na totalidade à realidade física nem são totalmente virtuais. Esta realidade contém o que

podemos designar por realidade aumentada e a virtualidade aumentada (a Figura 2 contém exemplos de aplicações associadas às diferentes componentes de realidade). A realidade aumentada engloba a inclusão de alguma informação virtual com o mundo real e a virtualidade aumentada engloba a inclusão de elementos do mundo real num Ambiente Virtual.

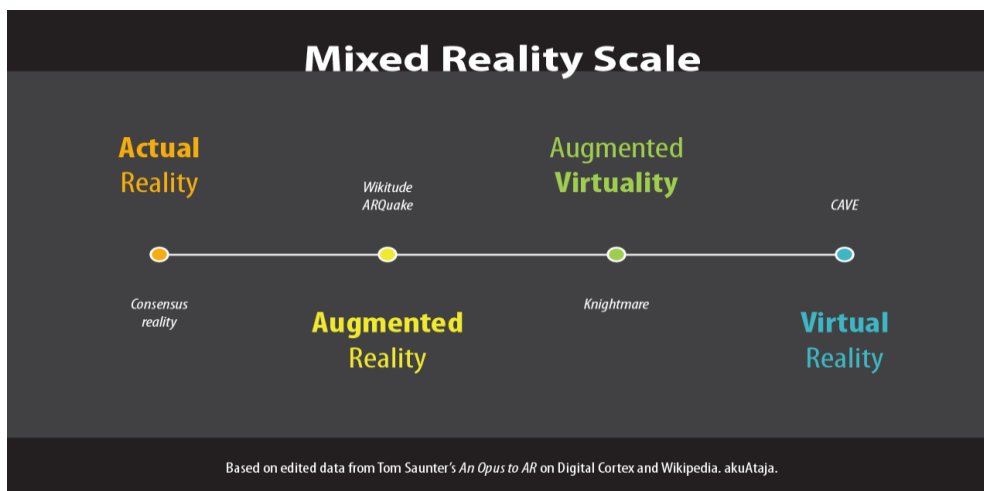


Figura 2 Escala das realidades exemplificada por aplicações. [Ataja, 2011]

O uso de **realidade aumentada** é capaz de associar a dispositivos electrónicos características únicas que acrescentam valor aos mesmos. Essas características podem ser: inclusão de elementos virtuais, inclusão de informações textuais ou gráficas adicionais que permitem ao utilizador complementar a sua percepção, compreensão ou aprendizagem dos elementos que o rodeiam, sendo também utilizada com finalidades lúdicas como jogos, e como forma revolucionária de comunicação, actualmente já existem anúncios publicitários que usam esta tecnologia.

A **virtualidade aumentada** incorpora elementos do mundo físico em ambientes virtuais, mas os elementos predominantes são de origem virtual (ver Figura 3 e Figura 4).

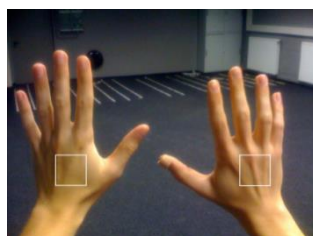


Figura 3 Mãos no mundo real [Uni-muenster, 2013]



Figura 4 Mãos inseridas no mundo virtual [Uni-muenster, 2013b]

O termo **realidade virtual** foi criado por Jaron Lanier em 1985, e corresponde a um ambiente virtual 3D criado através de computadores que simulam/recriam o mundo físico envolvente ou criam mundos que não existem, podendo representar situações, lugares, e acontecimentos. A realidade virtual imersiva é caracterizada pelo facto de utilizador do utilizador perceber o seu meio envolvente como sendo unicamente virtual [Biocca and Levy, 1995], a imersão torna-se mais realista através da inclusão dos sentidos, essa inclusão utiliza dispositivos que permitem o utilizador abstrair-se da realidade física, permitindo que este possa interagir com o envolvente virtual directamente, limitando a sua interacção com o mundo físico. A realidade virtual não imersiva ocorre quando percebe o seu meio envolvente como não sendo totalmente virtual. A realidade virtual está normalmente associada a ambientes imersivos 3D, sendo os seus usos mais comuns, relacionados com aprendizagem, arte, testes de performance, entre outros. A realidade virtual usa vários tipos de dispositivos como luvas, capacetes ou visores/óculos (Head Mounted Display -HMD), ratos e joysticks.

2.1.1 Dispositivos de Realidade Aumentada

Os dispositivos de realidade aumentada permitem uma interacção tecnológica com o ambiente que nos rodeia, sendo capazes de nos fornecer informações uteis em tempo real complementares as informações que o utilizador obteria só com recurso aos seus sentidos. Estes dispositivos permitem associar objectos imaginários no contexto de aplicações que permitam uma interacção entre as acções do utilizador e esse género de objectos. Estes dispositivos possuem uma câmara e vários sistemas electromecânicos (MEMS) como por exemplo o magnetómetro que funciona como bússola. Outros dispositivos a destacar são: óculos de realidade aumentada também designados como Optical Head Mounted Display (OHMD)¹, Head Up Displays (HUD), Tablets e Smartphones. Alguns dispositivos em fase de desenvolvimento procuram miniaturizar dispositivos de realidade aumentada de tal forma que possam ser

¹ Por exemplo o Vuzix Wrap 920 AR ou os Google Glasses

aplicados directamente ao olho humano como por exemplo lentes de contacto de realidade aumentada (Visual Retinal Display - VRD).

2.1.1.1 Google Glass

O Google Glass, apesar de ainda não estar disponível comercialmente, já é um dos projectos mais inovadores na área de realidade aumentada, e representa um grande avanço tecnológico que pode afectar o dia-a-dia de milhões de pessoas. O Google Glass vislumbra um mundo mais conectado, com acesso constante à internet, e consequentemente a informação. O Google Glass pertence a uma classe de dispositivos electrónicos que são efectivamente usados como acessórios no corpo dos seus utilizadores (ver Figura 5). Para conectividade com redes sem fios é utilizado Bluetooth e Wi-Fi 802.11b/g, permite a gravação de vídeo, realização de videoconferências, tirar fotografias, e no caso do som utiliza um transdutor de condução óssea no qual o som é propagado pelo crânio até atingir o canal auditivo. Devido a necessidades estéticas, tecnológicas e ergonómicas bem como questões legais relacionadas com a privacidade dos utilizadores a comercialização do produto foi atrasada prevendo-se que esteja disponível ainda durante 2013 com um custo aproximado de \$1500 dólares.



Figura 5 Realidade Aumentada no Google Glass. [Massnewsmedia, 2013]

2.1.1.2 HUD usados em automóveis

Head Up Displays são uma forma de realidade aumentada que se caracteriza pela inclusão de informação gráfica em superfícies transparentes, Apesar de já existirem há alguns anos no sector militar, recentemente têm surgido aplicações civis desta tecnologia. No caso da indústria automóvel começam a aparecer modelos cujo vidro frontal utiliza HUD para fornecer indicações ao condutor relativas a parâmetros do automóvel (Figura 6), porém o preço ainda elevado leva a que ainda existam poucos modelos com estas funcionalidades.

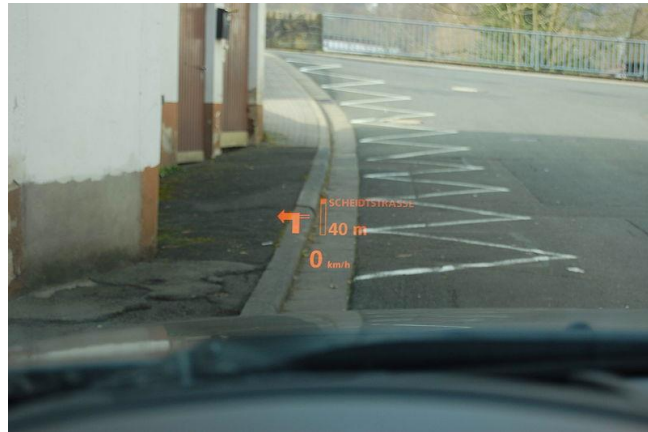


Figura 6 HUD in a BMW E60. [Affemitwaffe, 2008]

2.1.1.3 Smartphones

A inclusão da realidade aumentada nos telemóveis de última geração designados por smartphones é facilitada pelo facto de estes possuírem câmara fotográfica, GPS e vários sensores internos como acelerómetros [Gotow et al., 2010]. Os QR Codes correspondem a códigos de reconhecimento rápido sendo actualmente a tecnologia mais utilizada para interacção com objectos imaginários com os smartphones ou acesso a sítios da internet com propósitos publicitários/divulgação. Os QR Codes são reconhecidos pela câmara do smartphones através de aplicações instaladas para esse efeito. Existem várias aplicações que utilizam GPS, como por exemplo Wikitude (ver Figura 7) que combina a realidade com informações de posicionamento e navegação em tempo real.



Figura 7 Utilização do Wikitude perto da estátua da liberdade. [Skyscanner]

2.1.2 Dispositivos de Realidade Virtual de 360 graus

Existem vários tipos de dispositivos de realidade virtual que permitem movimentações dos seus utilizadores em todos os ângulos (360 graus). Este tipo de movimentação permite ao utilizador uma deslocação mais natural e com maior liberdade de movimentos sem grandes restrições físicas. Este tipo de dispositivos permite que o utilizador possa visualizar elementos virtuais no seu meio envolvente na totalidade ou quase na totalidade do seu ângulo de visão com ou sem recurso a visores, sendo os seguintes dispositivos os mais conhecidos deste género.

2.1.2.1 CAVE

O sistema de Realidade Virtual que permite uma maior imersão virtual de forma natural é o CAVE (CAVE Automatic Virtual Environment) que consiste na projecção de imagens nas faces interiores de um cubo (entre três a seis faces). Na Figura 8 pode ver-se o uso de um sistema CAVE existente para interacção com o comando sem fios WorldViz PPT Wand.



Figura 8 Demonstração da tecnologia CAVE. [Worldviz, 2012]

2.1.2.2 Omnidirectional Treadmill (ODT)

Este dispositivo permite um movimento abrangente em todas as direcções e o utilizador consegue mover-se de forma natural. Isto torna a experiência imersiva mais realista (ver Figura 9) mas implica maior interacção corporal do utilizador.



Figura 9 Demonstração do US Army Research Lab's ODT. [HRED ARL, 2007]

2.1.2.3 VirtuSphere

Este dispositivo permite ao utilizador mover-se num espaço localizado. Sempre que o utilizador se movimenta a esfera move-se para compensar (ver Figura 10), permitindo um número infinito de movimentos físicos do utilizador. A componente virtual implica o uso de um conjunto de realidade aumentada como um visor ou capacete capaz de transmitir imagens ao utilizador, por exemplo o Oculus Rift (ver Figura 11). A VirtuSphere é usada com ferramenta de formação em vários sectores de risco da vida civil de forma a minimizar o risco na vida real, por exemplo, Polícia, firmas de segurança e operadores da indústria petrolífera.



Figura 10 VirtuSphere VR. [Extremetech, 2012]

Figura 11 Oculus Rift. [Blogspot, 2013]

2.1.3 Dispositivos Hápticos

O ser humano experiencia o seu meio envolvente através dos seus sentidos (ver Figura 12) e, com o advento da sociedade de informação, esses sentidos interagem também com elementos do mundo digital. O termo háptico é um termo associado ao toque (da palavra grega *haptikós* (“ἅπτω”) e que significa "próprio para tocar, sensível ao tato". Este termo designa os sistemas associado ao toque / sistemas tácteis que aplicam força [Srinivasan, 1995].



Figura 12 Representação de contacto de Vicent van Gogh. [Wikipaintings, 2007]

As tecnologias hápticas criam a sensação de toque o que permite aos usuários manipular elementos virtuais de uma forma menos restrita do que as que actualmente existem permitindo também um movimento mais natural com a inclusão de mais possibilidades de movimento. No caso dos dispositivos hápticos isto é designado por *Degrees of Freedom* (DOF). A utilização de meios hápticos oferece assim maior realismo à interacção homem-máquina, adicionando um outro sentido.

Um dispositivo háptico pode ter até seis DOF referindo-se ao movimento de um objecto 3D no espaço nomeadamente nos seis tipos de movimento que podem ser aplicadas a ele. Três desses tipos estão relacionados com a translação: movimento de deslocamento para cima e para baixo ou o inverso, movimento de deslocamento da esquerda para a direita ou da direita ou o inverso e por último o movimento da frente para trás ou o inverso. Os três restantes estão relacionados com a rotação: arfagem (rotação em torno do eixo transversal), guinada (rotação em torno do eixo vertical) e rolagem (rotação em torno do eixo longitudinal) e podem ser executados num dispositivo háptico como o da Figura 13.



Figura 13 Manuseamento do interface háptico Novint Falcon. [Virtualworldlets, 2012]

Um dispositivo com um único DOF pode ser, por exemplo, o rato háptico criado por Suzuki [Suzuki et al., 2013], ou a pega háptica criada por Okamura usada em sistemas mecânicos dinâmicos [Okamura et al., 2002].

Um dispositivo com duas DOF pode ser, por exemplo, a interface esférica proposta por Watanabe [Watanabe et al., 2012] ou o dispositivo proposto por Leuschke onde a interacção é feita com dedos das mãos do utilizador [Leuschke et al., 2005].

Hoje em dia a maioria dos dispositivos hápticos possui entre três a seis DOF. Os dispositivos hápticos utilizam várias tecnologias que possibilitam a sensação de toque, os primeiros a serem construídos foram os mecânicos usando mecanismos físicos mecânicos, seguidos pelos hápticos de vibração e em anos recentes novas tecnologias foram criadas que permitiram a inclusão do magnetismo e de ultra-sons no desenvolvimento de dispositivos hápticos.

2.1.3.1 Dispositivos hápticos magnéticos

Os dispositivos hápticos magnéticos utilizam forças eléctricas magnéticas para simular forças que criam a sensação de tacto, tendo como característica principal a total inexistência de fios, permitindo um uso mais natural por parte do utilizador.

2.1.3.1.1 Butterfly Haptics Maglev 200

Este dispositivo possui 6DOF, e por utilizar forças magnéticas só contém uma única parte movível que contém dois botões (tendo algumas similaridades com o uso do rato), não possui obstáculos físicos à sua utilização (ver Figura 14). É possível definir a grandeza das forças entre valores extremamente baixos e valores extremamente altos devido à sua precisão.



Figura 14 Maglev 200 da companhia Butterfly Haptics. [Butterflyhaptics, 2013]

2.1.3.1.2 ZeroN

ZeroN é um protótipo háptico que está a ser desenvolvido no MIT Media Lab por Jinha Lee (ver Figura 15). O protótipo é considerado um LIE (Levitated Interaction Element) sendo este um elemento levitado interactivamente. A componente háptica é obtida através de campos magnéticos, sendo o movimento da bola de metal obtido através de rastreamento por câmeras de infravermelhos.

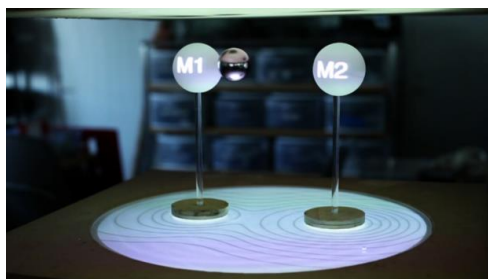


Figura 15 Demonstração de uso do ZeroN [DigitalTrends, 2013]

2.1.3.2 Dispositivos hápticos mecânicos

Os dispositivos hápticos mecânicos utilizam aparelhos mecânicos para simular forças que criam a sensação de tacto.

2.1.3.2.1 Quanser 5-DOF Haptic Wand

Este háptico possui 5 DOF, permite um nível elevado de precisão no seu manuseamento sendo por exemplo utilizado com Mitsubishi Pa-10 para realizar cirurgias pois permite “sentir”/simular contacto de forma extremamente fiável (ver Figura 16).



Figura 16 Quanser 5 ligado a um componente robótico. [Imath-asia, 2013]

2.1.3.2.2 Novint Falcon

Este dispositivo possui 3DOF e é considerado como o primeiro dispositivo criado especificamente para o utilizador comum, o seu preço foi reduzido ao máximo, a versão representada na Figura 17 custa cerca de 250\$USD, mas a maioria dos dispositivos hápticos com este tipo de características custam vários milhares de dólares. É possível alterar o formato da pega, existindo uma com formato de pistola para jogos de acção. O dispositivo tem uma taxa de actualização de informação de entrada de cerca de 1KHz, sendo por isso muito realista a reacção física a movimentos virtuais gerados pelo computador e subsequentemente transmitidos aos motores do Falcon.



Figura 17 Novint Falcon. [Gstatic, 2013]

2.1.3.2.3 Phantom Omni

Este háptico possui 6 DOF, a pega possui o formato de uma caneta, destina-se principalmente a profissionais de várias áreas, o preço da versão demonstrada na Figura 18 é de 2.400\$USD quase 100 vezes mais que o Novint Falcon.



Figura 18 Demonstração de uso do Phantom Omni. [Axis3d, 2013]

2.1.3.3 Dispositivos hápticos de ultra-sons

Uma área inovadora de desenvolvimento de interfaces hápticas foi criada por Hiroyuki Shinoda professor da universidade de Tóquio. O uso de ultra-sons permite uma liberdade de movimentos excepcional em termos de espaço físico para a interação homem-máquina, mas o ponto mais interessante é que o interface proposto seria unicamente virtual sem necessidade de ter elementos físicos, excepto o utilizador e o corpo do mesmo (ver Figura 19). Esta tecnologia é reconhecida como uma possível tecnologia para uso futuro no desenvolvimento de hologramas que permitam contacto físico.



Figura 19 Super Haptics -Hiroyuki Shinoda. [Physorg, 2009]

2.1.3.4 Dispositivos hápticos de vibração

Estes dispositivos utilizam componentes físicos (ver Figura 20) capazes de criar a sensação de toque (em inglês são designados por actuators), estes componentes começam a ser mais utilizados em dispositivos móveis especialmente smartphones. A Tabela 1 descreve alguns dos componentes existentes, e a Tabela 2 estabelece a comparação entre os diferentes tipos de actuadores.

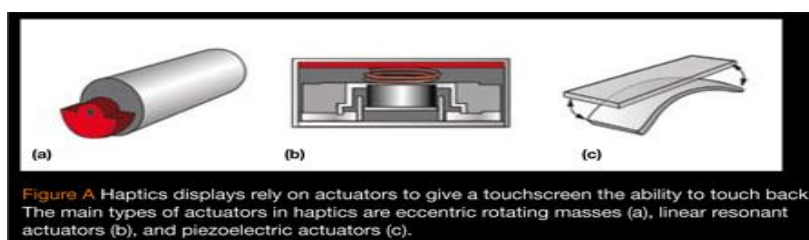


Figura 20 Tipos de actuators. [Edn-europe, 2013]

Tabela 1 – Tipos de componentes hápticos de vibração

Componente	Descrição
ERM	Eccentric Rotating Mass é um motor de corrente contínua com um deslocamento de massa (não-simétrico) ligado ao eixo.
LRA	Linear Resonant Actuators é uma tecnologia que se baseia no deslocamento repetitivo de uma massa, e tendem a ser mais eficientes do que ERMs.
EAP	Electroactive Polymer são caracterizados como polímeros que mediante a introdução de corrente eléctrica, são alteradas as suas dimensões e formas.
Piezoelectric Actuator	Materiais piezoeléctricos são materiais que retêm electricidade no seu estado sólido, como cristais, cerâmica. Estes atuadores utilizam materiais piezoeléctricos como material activo. Este actuador é bastante utilizado na indústria aeroespacial.

Tabela 2 – Comparação de características dos tipos de actuadores

Características dos tipos de actuadores ¹				
	ERM	LRA	Actuador Piezoeléctrico	EAP
Forma	Barra ou Disco de Hóquei	Disco de Hóquei	Fósforo	Tela Plana
Dimensões Aproximadas	11 x 4.5 mm	10 x 3.6 mm	3.6 x 3.5 x 42 mm	45 x 38 x 0.8 mm
Requerimentos de energia	130-160 mA	65-70 mA	130-160 mA	–
Frequência	90-200 hz	15-200 hz	150-300 hz	90-125 hz
Constante de tempo mecânica	50 ms	30 ms	<5 ms	<5 ms
Durabilidade	Variável	Muito durável	Muito durável	Excelente
Fidelidade da sensação	Baixa	Média	Alta	Alta

¹ Esta tabela baseia – se na tabela contida na imagem do seguinte url: http://www.electronicproducts.com/images2/facn_immersion_table_dec2011.gif

O iPhone4 e a família de telemóveis “Galaxy ”da Samsung utilizam actuadores LRA.

Um exemplo de uso de EAP é o caso do ViviTouch HD Feel usa uma camada fina de polímeros que contêm eléctrodos EAP, sendo possível a sua integração em qualquer dispositivo, adicionando aos mesmos capacidades hápticas, a grande vantagem é a possibilidade de customização das sensações transmitidas ao utilizador pelas capacidades hápticas, a Figura 21 explica como a sua componente Device Shaker é adicionada a equipamentos de terceiros, e Figura 22 explica a inclusão da componente para detecção do movimento de toque (Moving Touch Sensor).

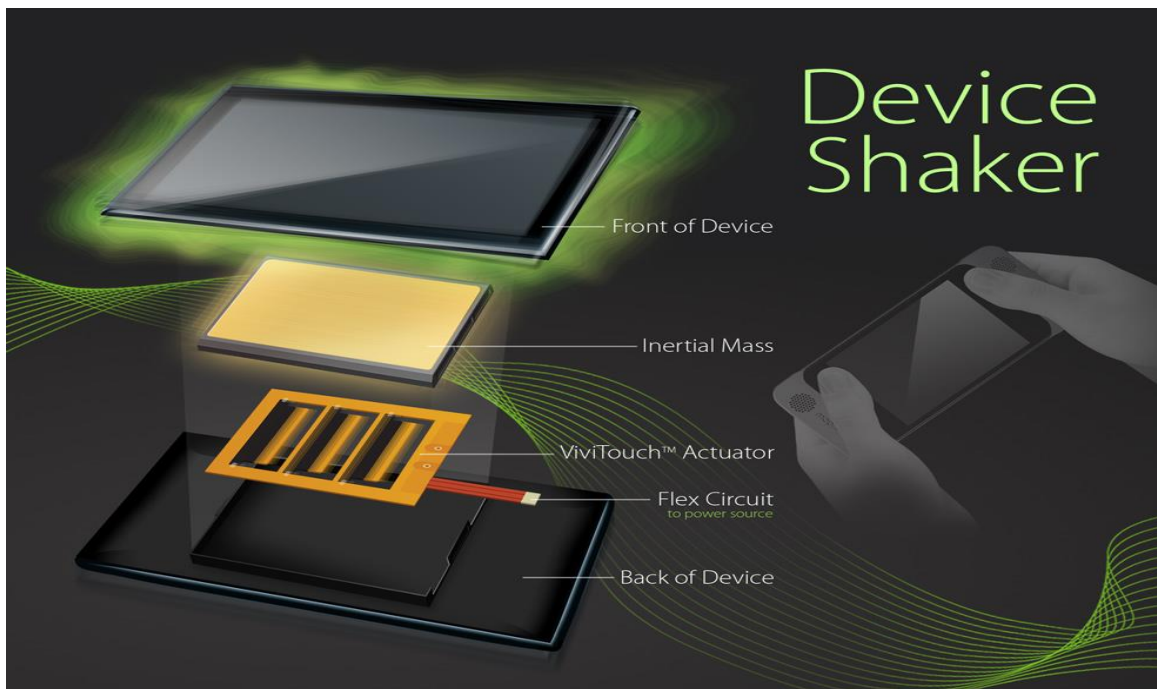


Figura 21 Explicação do Vivitouch Device Shaker. [Vivitouch, 2013b]

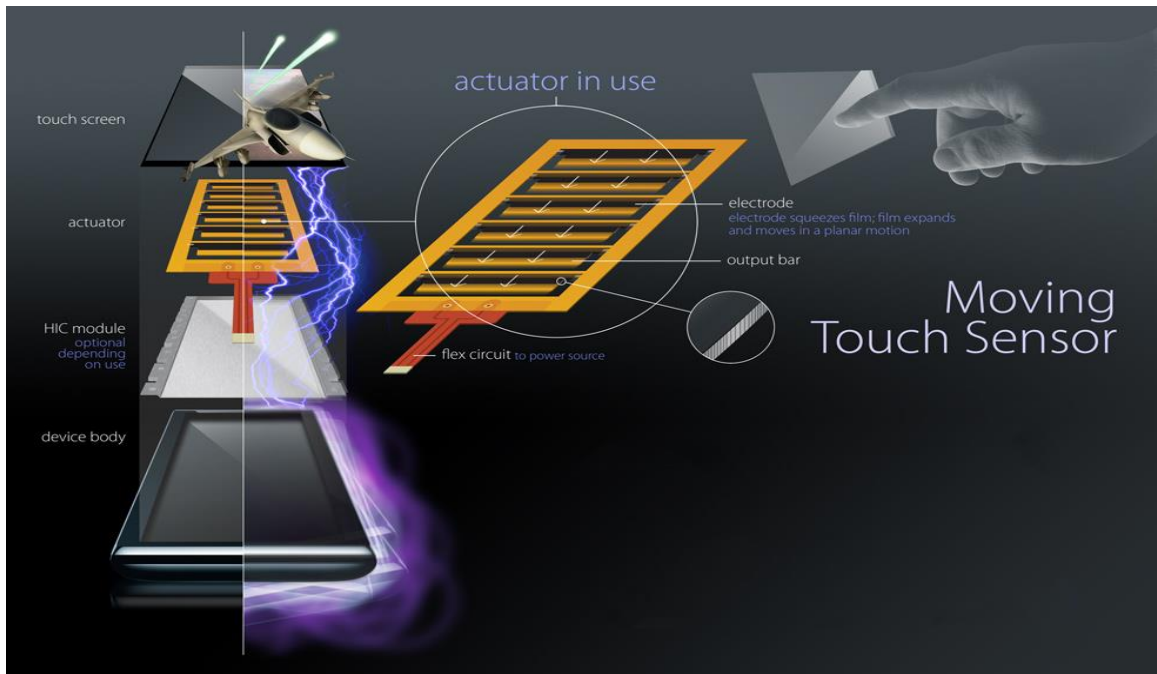


Figura 22 Explicação do Vivitouch Moving Touch Sensor. [Vivitouch, 2013a]

2.1.3.4.1 Immersion's Haptic SDK

Este SDK gratuito contém cerca de 120 vibrações predefinidas, permite criar/ utilizar vibrações em aplicações em várias plataformas. Para telemóveis com o sistema operativo android existe na página do Google Play duas aplicações de demonstração da Immersion. A aplicação “Haptic Effect Preview” (ver Figura 23) que permite experienciar alguns exemplos de vibrações isoladamente e “Haptic Muse” (ver Figura 24) que permite experienciar vibrações com contexto gráfico.

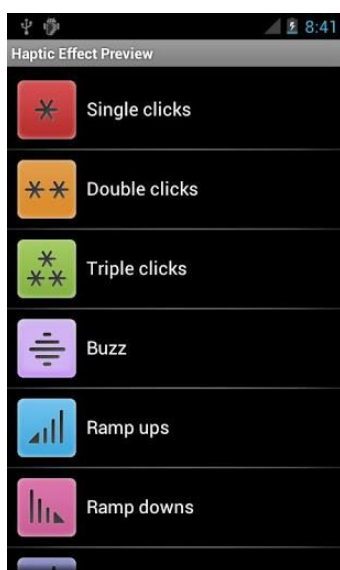


Figura 23 Execução de “Haptic Effect Preview” [Staztic, 2013]



Figura 24 Execução de “Haptic Muse” [Ggpht, 2013]

2.1.3.5 Outros tipos de dispositivos hápticos

Existem outros dispositivos gráficos que não se enquadram nos grupos descritos anteriormente.

2.1.3.5.1 Cinto Háptico

Esta tecnologia está a ser desenvolvida pelo exército americano para no futuro ser possível indicar a soldados no terreno a direcção que devem tomar recorrendo a indicações de GPS fornecidas por UAV, ou satélites (ver Figura 25).



Figura 25 Cinto Háptico [Blogcdn, 2011]

2.1.3.5.2 Colete Háptico

O conceito é quase similar ao conceito do cinto háptico, com a excepção que o equipamento é reduzido ao mínimo necessário para assistir invisuais (ver Figura 26), estando a ser desenvolvido por Stephanie Wiriahardja.

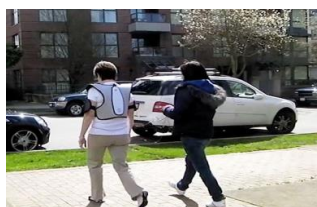


Figura 26 Colete háptico de apoio a cegos [Dvice, 2012]

2.1.3.5.3 Colete táctil de jogo/ Tactile Gaming Vest (TGV)

O colete criado por Saurabh Palan (ver Figura 27) recria contacto, pois converte reacções virtuais em reacções físicas, sendo possível sentir colisões com objectos, e no caso de jogos de combate permite sentir balas. O colete cria as sensações hápticas com recurso a solenóides e de elementos Peltier controlados electronicamente por computador.



Figura 27 Colete Háptico de jogo [Singularityhub, 2010]

2.1.3.5.4 CyberGrasp

O CyberGrasp usado em conjunto com CyberGlove (ver Figura 28) permite ao utilizador efectuar movimentos realistas como agarrar objectos virtuais, mas também tem limitações de movimento devido à estrutura. A estrutura funciona como um exosqueleto complementado a estrutura física do utilizador, e aplicando individualmente a cada dedo da mão a força de reacção de um determinado movimento num contexto específico.



Figura 28 CyberGrasp com CyberGlove II [Uni-paderborn, 2013]

2.1.3.5.5 Masayo Ave Haptic Touch Panel

Masayo Ave é designer e fundadora do instituto de Haptic Interface Design da Universidade de artes de Berlim criou o conceito de Haptic Interface Design. O conceito tem como princípios o desenvolvimento de materiais com capacidade háptica, nomeadamente produtos revolucionários de design que melhorem o uso da sensação de tacto em objectos, alterando assim a nossa relação com o ambiente que nos rodeia [Masayo, 2011]. Masayo desenvolveu a título de demonstração alguns painéis hápticos com finalidades artísticas (ver Figura 29).



Figura 29 Painel háptico – “The Sound of Materials”. [Concepthunter, 2013]

2.1.3.6 Custo dos dispositivos hápticos

Comercialmente já começam a existir mais dispositivos para utilizadores comuns com diferentes finalidades tais como jogos ou simuladores virtuais. A principal razão pela qual a tecnologia háptica ainda não é parte da vida quotidiana é o preço do hardware (ver Tabela 3). Por isso apenas algumas áreas como a medicina ou a indústria de perfuração de petróleo já usam sistemas hápticos de forma regular há vários anos.

Tabela 3 – Comparação de preços de alguns dispositivos hápticos

Dispositivo Háptico	DOF	Custo (\$USD)
SensAble PHANTOM Omni Premium 1.0	6	\$ 20,450
SensAble PHANTOM Desktop	6	\$ 13,000
Novint Falcon Pistol Grip Bundle – White	3	\$279.95
Novint Falcon standard bundle	3	\$249.95

Só nos últimos anos, com o desenvolvimento de mais dispositivos hápticos, começaram a existir sistemas mais acessíveis, como o Novint Falcon com um custo reduzido a algumas centenas de euros.

Com mais dispositivos acessíveis ao consumidor comum, este passa a ter acesso a este tipo de dispositivos para uso pessoal. Espera-se que o custo deste tipo de hardware continue a diminuir ao longo dos próximos anos, o que deverá aumentar a sua utilização.

2.2 Simuladores

A simulação pode ser definida como o processo de concepção de um modelo de um sistema real ou imaginário e a realização de experiências com esse modelo [Smith et al., 2000]. A maioria dos aspectos da vida real pode ser simulado, como tal as simulações são usadas em quase todas as áreas do conhecimento como a educação, a aviação, a medicina, etc. Naturalmente que uma simulação não é igual ao mundo real, mas apenas uma aproximação.

O uso de simulações beneficia a educação, permitindo que uma tarefa seja executada sem os inconvenientes que existem no mundo real, permitindo ao utilizador realizar as tarefas inúmeras vezes, sem medo de falhar ou de cometer erros.

Os simuladores com recurso a meios informáticos têm adquirido cada vez mais importância, desde o princípio da segunda metade do séc. XX até os dias de hoje. O uso de simuladores permitiu à humanidade treinar astronautas para ir para o espaço e eventualmente à lua, mas também o treino de tarefas mais mundanas tais como a aprendizagem de condução. O seu uso tem forte tradição no meio aeronáutico, quer pelo treino de pilotos como na recriação/simulação de acidentes para descobrir o porquê da sua ocorrência, e detecção de falhas que existam.

2.2.1 Simuladores de Voo / Flight Simulation Training Devices (FSTD)

Os simuladores de voo encontram-se entre os primeiros simuladores da história. A evolução aeronáutica e espacial implicou um constante melhoramento destes dispositivos, em termos de tecnologias e meios utilizados, inicialmente no início do séc. XX eram puramente mecânicos, mas a partir de 1960 começaram a ser incluídos computadores nos simuladores para recolha de dados e posteriormente, os computadores começaram a ser também utilizados na geração de ambientes virtuais tornando as simulações mais verídicas. Estes simuladores recriam os procedimentos necessários ao voo, servindo como meio de aprendizagem aos futuros pilotos de aeronaves, e como meio de treino contínuo para pilotos efectivos. Os simuladores simulam situações com o objectivo de testar conhecimentos, capacidades físicas de reacção do piloto, conhecimento da aeronave e conhecimento sobre o comportamento da aeronave em voo. Hoje em dia na vertente tecnológica os simuladores de voo da NASA são dos mais avançados do mundo, na vertente comercial de simuladores para o utilizador comum o mais reconhecido é o Flight Simulator da Microsoft.

2.2.1.1 Simuladores de Voo da NASA

Hoje em dia os simuladores de voo da NASA são dos mais avançados do mundo, com grande grau de realismo, porque têm sido alvo de um constante melhoramento. Este melhoramento ocorre pelo facto de as aeronaves usadas pela NASA terem um custo elevado, porque exemplo o Space Shuttle tinha um custo aproximado de 450 milhões de dólares, por isso existe pouca margem para erro devido aos custos que um erro acarreta (ex. destruição da aeronave). Os simuladores da NASA são simuladores imersivos onde, para garantir melhor desempenho e familiaridade com os sistemas reais, os interfaces utilizados são interfaces físicos (ver Figura 30).



Figura 30 Uso de simulador de voo na NASA. [Cooper, 2010]

2.2.1.2 Microsoft Flight Simulator

Actualmente o simulador de voo mais comum para o consumidor comum é o Flight Simulator da Microsoft, criado em 1982, usa interfaces virtuais (ver Figura 31) e corre em computadores pessoais e em consolas de jogos. O simulador permite experienciar e simular o voo de aeronaves conhecidas, porém a sua finalidade é mais lúdica, apesar de permitir a aprendizagem de alguns conceitos de voo.



Figura 31 Microsoft Flight Simulator 2000. [Pcgameshardware, 2009]

Este simulador e permite a utilização de joysticks como o joystick da Figura 32, para um controlo de um modelo de avião de forma mais aproximada à realidade.



Figura 32 Microsoft Flight Simulator joystick. [Itreviews, 2012]

2.2.2 Simuladores exploração de recursos

Uma área que tem desenvolvido simuladores inovadores é a de exploração de recursos naturais sejam estes de carácter mineral, ou de outro tipo. Os Simuladores mais avançados desta área são utilizados na indústria petrolífera para treino de pessoal e na identificação, prospecção, avaliação e extracção de reservas de petróleo. Devido aos perigos associados ao manuseamento de equipamento e de acidentes em lugares remotos e isolados como o caso de plataformas em alto acrescem a necessidade de realização de treinos constantes para familiarização com os procedimentos de segurança e de boa conduta. As simulações virtuais permitem reduzir alguns custos relativos a formação, pelo facto de não utilizarem tantos meios físicos.

2.2.2.1 StatoilHydro Integrated Virtual Reality (SHIVR)

Este simulador de realidade virtual desenvolvido em 1997 pela Hydro e pelo Christian Michelsen Research (CMR) permite vários tipos de utilização para visualização de dados e estatísticas (ver Figura 33). Uma das suas componentes mais impressionantes corresponde a uma visão 3D dos dados geológicos obtidos através de pesquisas sísmicas ver Figura 34 e conseqüentemente elaborar um plano mais detalhado e eficiente para a exploração de crude e gás, poupando recursos e tempo na sua exploração.

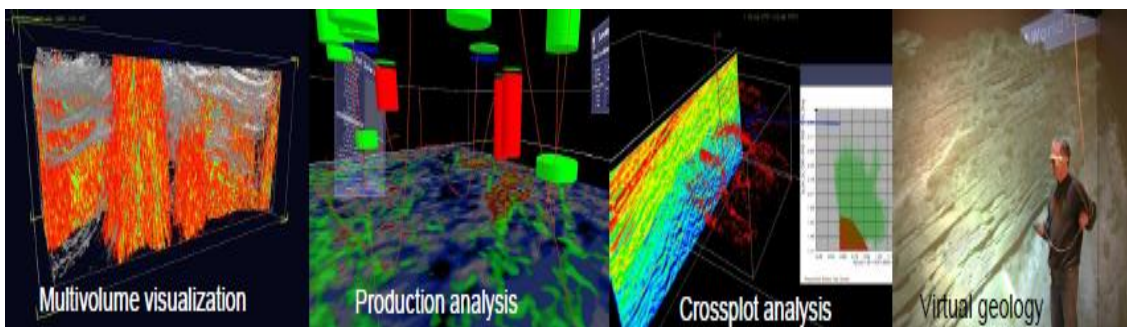


Figura 33 exemplos de utilização do SHIVR [Ncesubsea, 2012]

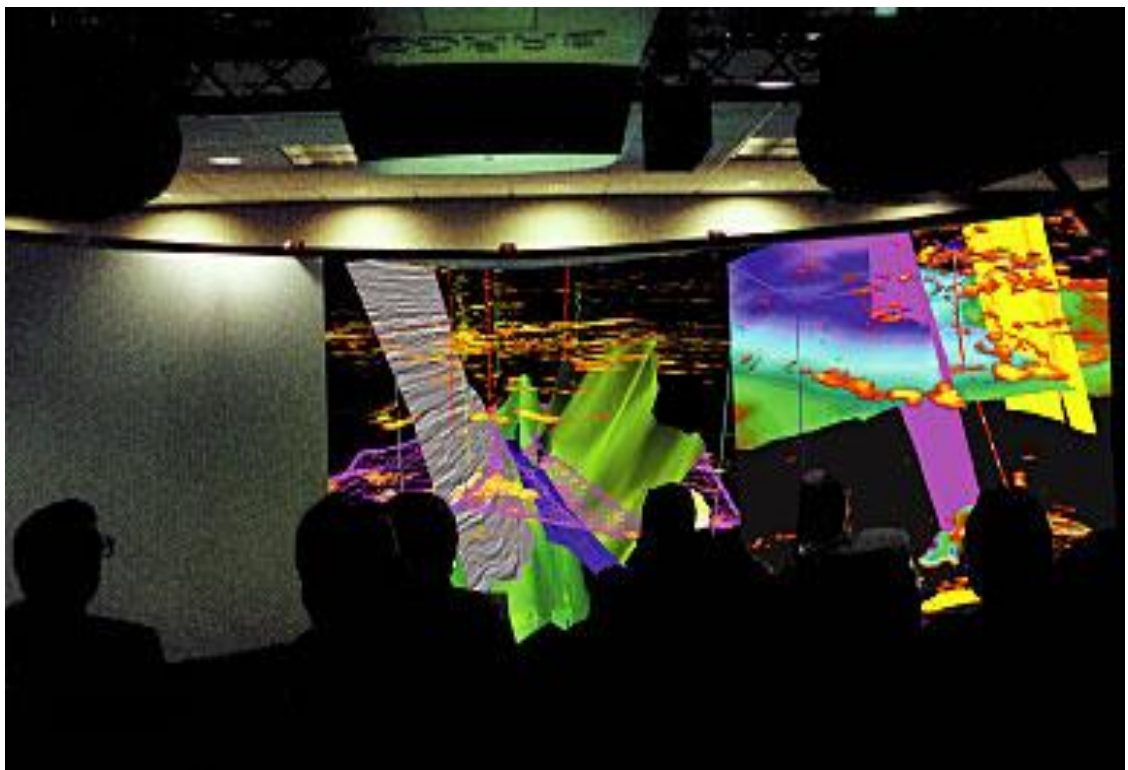


Figura 34 Demonstração do SHIVR. [Pennwellnet, 2013]

2.3 Simuladores hápticos de para aprendizagem da Física

O ser humano possui cinco sentidos: audição, olfacto, paladar tacto, visão (ver Figura 35); através dos quais percebemos a realidade envolvente, obtendo informação da mesma e aprendendo factos e conceitos da mesma.

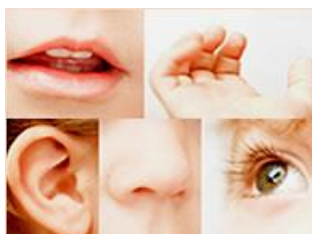


Figura 35 Os cinco sentidos humanos [Microbemagic, 2013]

Segundo o modelo de aprendizagem VAK (Visual, Auditory and kinaesthetic) de Neil Fleming a aprendizagem formal de conhecimento está associada essencialmente à aprendizagem obtida de três sentidos: tacto, som e visão.

A aprendizagem visual é obtida através do sentido da visão que permite para experienciar o ambiente circundante, visualizar textos e informações gráficas, e reter essa informação em memória.

A aprendizagem háptica / táctil / cinestética é obtida através do sentido do tacto e requer contacto físico continuado na tarefa de resolução de tarefas. A aprendizagem ocorre também através da repetição de tarefas, sendo melhorados os reflexos do aprendiz bem como a sua capacidade para recordar informação aprendida anteriormente.

Aprendizagem Auditiva é obtida através do sentido da audição que permite obter e compreender os sons que nos rodeiam, e associá-los com situações, contextos, objectos, factos e palavras.

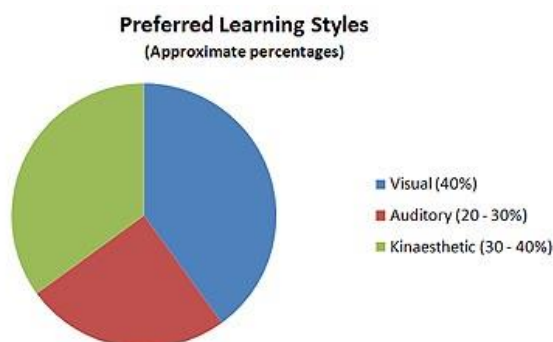


Figura 36 Principais estilos de aprendizagem [New-edge, 2013]

O estilo de aprendizagem varia conforme o individuo e a situação, a figura exemplifica os valores em média dos estilos de aprendizagem de individuo num contexto específico, nesse caso a aprendizagem háptica pode corresponder entre a 30 a 40 por cento da aprendizagem do individuo

O construcionismo corresponde a uma teoria de aprendizagem proposta por Seymour Papert segundo a qual a aprendizagem é melhorada quando existe uma interacção física com objectos reais para além da criação por parte do aprendiz de um modelo mental do ambiente circundante [Kynigos, 2012], isto é a forma como o aluno estabelece conexões de informação relativas ao seu meio envolvente e cria/manipula objectos reais.

O recurso a elementos tecnológicos para melhorar a aprendizagem de várias áreas científicas tem sido exponencial. Uma dessas vertentes corresponde ao uso de simuladores de forças físicas pois permitem complementar a educação tradicional (que possuem conceitos, fórmulas e dados) com elementos de carácter prático que permitem uma aprendizagem mais natural, com recurso aos sentidos do utilizador. O uso de dispositivos hápticos é valorizado em simulações porque fornecem feedback automático ao utilizador em termos de forças, permitindo um tempo de resposta mais realista a uma situação simulada, bem como uma melhor assimilação do conteúdo e ambientes de simulação. Este tipo de simulação pode ser usado tanto como uma ferramenta de educação ou para fins recreativos [Farhadi-Niaki et al., 2013].

Várias áreas de aprendizagem exigem que os alunos sejam capazes executar tarefas físicas como meio de aprendizagem também designadas como Hands-On, essas tarefas podem ser executadas num ambiente virtual com a tecnologia háptica, permitindo ao aluno aprender as mesmas habilidades que iriam requerer quantidade superior de recursos e equipamentos se a aprendizagem fosse realizada só com elementos do mundo real [ELI, 2007].

Existem algumas simulações de realidade virtual com o propósito de ensinar a física [Han and Black, 2011]. As simulações hápticas de física possuem uma infinidade de usos possíveis para fins educativos, permitindo a concepção de ensino e de formação específica nesta área, principalmente em conceitos específicos de física. Já existem alguns trabalhos nesta área por exemplo o trabalho de Williams destinado a ensinar física do ensino secundário [Williams II et al., 2002] e o trabalho de Han no ensino de física elementar [Han and Black, 2011].

3 Forces of Physics

Este capítulo explica os passos relativos à concepção e ao desenvolvimento do projecto de forma a atingir os objectivos propostos. Numa fase inicial foram estabelecidos vários requisitos para o desenvolvimento da aplicação:

- A utilização do interface háptico Novint Falcon para a interacção com o utilizador.
- A concepção de uma aplicação educativa capaz de ter vários módulos capazes de simular várias forças da física.
- A aplicação teria que ser capaz de suportar vários idiomas.

O simulador recebeu o nome de “Forces of Physics” e o seu logotipo reflecte os vários tipos de forças existentes.

3.1 Modelo Conceptual

O simulador háptico “Forces of Physics” é um simulador de Física que possui vários módulos, cada um abordando uma área específica de Física. Os módulos desenvolvidos até agora estão relacionados com as forças: Atrito /Fricção, Gravitação e Aerodinâmica. O simulador possui uma componente física pelo facto de utilizar um dispositivo físico e uma componente virtual de realidade virtual relativa ao uso ambientes imaginários criados para o enquadramento do módulo pretendido. A acção do utilizador no mundo real, com o Falcon, implicam alterações correspondentes no simulador e vice-versa como se pode ver na Figura 37 que representa a forma como o utilizador interage com o simulador.



Figura 37 Uso do Falcon no simulador.

O diagrama seguinte (ver Figura 38) apresenta todas as janelas disponíveis no simulador.

3.1.1 Diagrama de transição de janelas do simulador

Menu Principal

Janelas de Menu

Janelas de Simulação



Figura 38 Diagrama de Janelas

3.1.2 Módulo de Forças de Atrito

A força de atrito é a força de contacto entre duas superfícies contrária ao movimento exercido sobre um objecto, sendo o valor da sua força alterado mediante a área de contacto, as características dos materiais que as compõem (rugosidade, tipo de material, etc.), condições externas como inclinação e a existência de lubrificação (água, óleo, gordura, etc.). O objecto só entra em movimento quando a força aplicada for maior que a força de atrito estática.

Existem duas fórmulas possíveis para calcular a força de atrito, variando o coeficiente de atrito, que pode ser estático ou cinético, gerando as respectivas forças de atrito.

A **força de atrito estático** é calculada quando os objectos estão parados ou prestes a iniciar movimento.

$$g \approx 9,82 \text{ ms}^{-2} \quad (1)$$

$$F_a = \mu_e \times m \times g \quad (2)$$

,onde F_a corresponde à força de atrito estático, μ_e é o coeficiente de atrito estático, sendo m a massa do objecto e g é a constante de aceleração da gravidade.

A **força de atrito cinético** é calculada quando existe movimento entre os objectos.

$$F_a = \mu_c \times m \times g \quad (3)$$

,onde F_a corresponde à força de atrito cinético, μ_c é o coeficiente de atrito cinético, sendo m a massa do objecto e g é a constante de aceleração da gravidade.

Para este módulo foi determinado a utilização de seis materiais: Betão, Vidro, Aço, Rocha, Madeira, e Borracha, e que os materiais do cubo serão sempre secos, mas os materiais do piso podem ser secos ou molhados. Foi assumido que os coeficientes que ocorrem no caso de o material do piso ser molhado e material do cubo seco, são válidos para o seu inverso, por exemplo: um piso de betão molhado com cubo de madeira possui os mesmos coeficientes que um piso de madeira molhada com cubo de betão. A relação entre os coeficientes e os materiais está representada na Tabela 4.

Tabela 4 – Tabela de Coeficientes de atrito do módulo de fricção

Cubo	Piso	Cubo seco			
		Piso seco		Piso molhado	
		μ_e	μ_c	μ_e	μ_c

Betão	Betão	0.9	0.65	0.3	0.25
	Vidro	0.6	0.4	0.25	0.2
	Aço	0.5	0.45	0.25	0.2
	Rocha	[0.6 – 0.7]	0.55	0.5	0.4
	Madeira	0.62	0.5	0.35	0.2
	Borracha	1.0	[0,6-0,85]	0.3	0.25

Vidro	Betão				
	Vidro	[0.9 - 1]	0.4	[0.1-0.6]	[0.09-0.12]
	Aço	[0.5-0.7]	0.4	[0.2-0.3]	0.1
	Rocha	1.0	0.7	0.5	0.4
	Madeira	0.8	0.5	0.3	0.2
	Borracha	1.0	0.6	0.3	0.25

Aço	Betão				
	Vidro				
	Aço	0.7	0.57	0.6	0.09-0.19
	Rocha	0.8	0.65	0.55	0.4
	Madeira	[0.2-0.6]	0.4	0.2	0.15
	Borracha	1.0	0.6	0.3	0.25

Cubo	Piso	Cubo seco			
		Piso seco		Piso molhado	
		μ_e	μ_c	μ_e	μ_c

Rocha	Betão				
	Vidro				
	Aço				
	Rocha	0.9	0.6	0.55	0.45
	Madeira	[0.2-0.4]	0.17	0.15	0.1
	Borracha	1.0	0.6	0.3	0.25

Madeira	Betão				
	Vidro				
	Aço				
	Rocha				
	Madeira	[0,25 - 0,5]	0.2	0.2	0.072
	Borracha	1.0	0.6	0.3	0.25

Borracha	Betão				
	Vidro				
	Aço				
	Rocha				
	Madeira				
	Borracha	1.0	0.6	0.3	0.25

3.1.2.1 Simulação de Forças de Fricção

A simulação pretende demonstrar conceitos associados à fricção. As Forças aplicadas a um objecto podem ser divididas em quatro componentes: a força motriz que corresponde à força aplicada directamente ao objecto, a força de atrito, força normal que a corresponde à força de reacção exercida por uma superfície sobre um corpo de um objecto que esteja em contacto com a superfície e o peso do objecto. Para a simulação usamos um modelo 3D de um cubo com uma pega que representa a pega do Novint Falcon no mundo físico. O cubo pode ser movido ao longo de uma superfície limitada.

Quando o objecto se encontra parado é aplicada a força de atrito estático, quando o objecto é movimentado a força altera-se sendo aplicada a força de atrito cinético, portanto a força de atrito depende do estado do movimento do objecto (que determina o coeficiente de atrito a ser utilizado), do material da superfície e do objecto (neste caso um cubo), e do estado do material da superfície que pode ser seco ou molhado.

O utilizador pode alterar os materiais do cubo e da superfície de apoio utilizando as setas visíveis no ecrã. A parte esquerda do ecrã refere-se ao material da superfície e a parte direita ao material do cubo (ver Figura 39). A alteração vai resultar em alterações em ambos os coeficientes (estáticos e cinéticos) e, conseqüentemente, a força de atrito resultante. Actualmente existem seis tipos de superfícies: betão, vidro, rocha, borracha, aço e madeira. O estado do cubo é sempre seco, mas o estado do piso pode ser ou seco ou molhado.



Figura 39 Execução do módulo de fricção

3.1.3 Módulo de Forças Gravitacionais

Este módulo permite experienciar as forças gravitacionais que correspondem às forças de atracção existentes entre os corpos de dois objectos e que são calculadas usando a lei de gravitação universal.

O cálculo da **força gravitacional** é realizado utilizando a lei de gravitação universal(5), utilizando a constante de gravitação universal (4), que corresponde ao factor que relaciona força com a massa e a distância na lei de gravitação universal.

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{Kg^2} \quad (4)$$

,onde G é a constante de gravitação universal

A **lei de gravitação universal** de Isaac Newton estabelece as forças gravitacionais entre dois objectos (ver Figura 40) são aplicadas de forma idêntica a ambos os objectos.

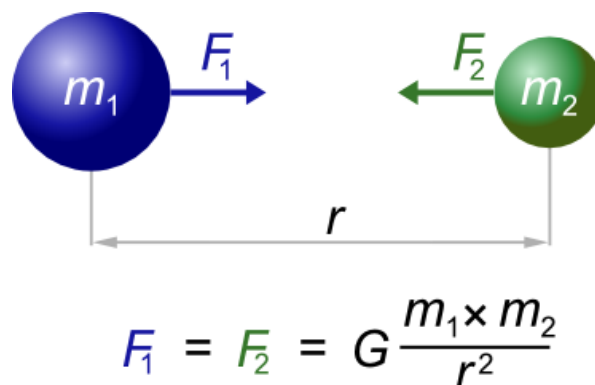


Figura 40 Força gravitacional [Nilsson, 2008]

Newton define que no universo, objectos com massa atraem outros objectos com massa, sendo inversamente proporcionais à sua distância ao quadrado e proporcionais ao produto das suas massas.

$$F = \frac{G \times M_1 \times M_2}{R^2} \quad (5)$$

,onde F corresponde à força gravitacional entre dois objectos, G é a constante de gravitação universal (4), sendo M_1 a massa do primeiro objecto, M_2 a massa do segundo objecto e R a distância entre os centros de massa de ambos os objectos.

3.1.3.1 Simulação de Forças Gravitacionais

A simulação deste módulo foi desenvolvida como um jogo, no qual existem asteróides que saem de um cinturão de asteróides e são projectados em direcção ao ecrã, o asteróide activo é então atraído gravitacionalmente pelo planeta Terra, sendo possível sentir a força entre eles. A trajectória do asteróide é alterada mediante a distância à Terra e a força existente entre a terra e o asteróide activo, quando se encontra próximo do planeta Terra tende a entrar na órbita deste. A Força gravitacional é aplicada ao planeta Terra, à medida que a distância entre o asteróide e a terra diminui a força aumenta, assim dependendo da proximidade dos objectos, o utilizador vai sentir a força em conformidade. À medida que o asteróide se move o utilizador será capaz de seguir sua trajectória representada com pontos verdes. O objectivo do jogo é a destruição de asteróide activo, que só pode ser realizado se o utilizador alterar a trajectória dos asteróides para que estes colidam com o sol.

Cada vez que o asteróide activo é destruído é aumentado o contador relativo à quantidade de asteróides destruídos ver Figura 41, posteriormente à destruição do asteróide um novo asteróide ficará activo. Se o asteróide tiver a sua trajectória desviada ao ponto de não ser destruído pelo sol ele continua o seu movimento pelo espaço deixando de existir quando se encontra fora do frustum da câmara, sendo então activado outro asteróide. O utilizador deve evitar que o asteróide se aproxime em demasia do planeta Terra por causa de a distância ser reduzida a força será elevada e será difícil alterar a trajectória, porém se o planeta estiver muito afastado pode não conseguir alterar a trajectória do asteróide devido à velocidade do mesmo e por causa da força gravitacional aplicada ser reduzida.

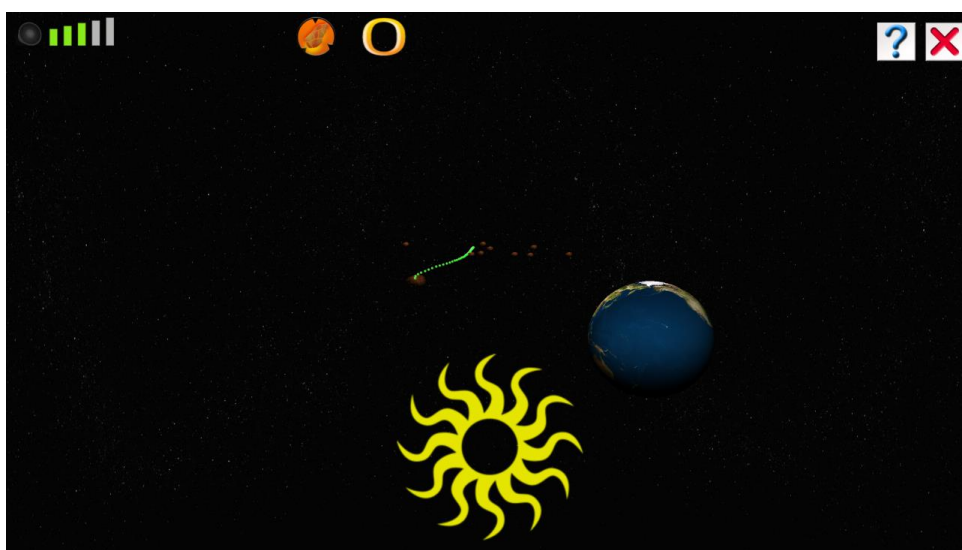


Figura 41 Execução do módulo de Gravitação

3.1.4 Módulo de Forças Aerodinâmicas

As forças aerodinâmicas são as forças exercidas sobre um corpo devido ao seu movimento num meio gasoso ou líquido, no caso desta simulação o meio é gasoso e corresponde ao ar. Existem quatro forças aerodinâmicas exercidas sobre o avião (ver Figura 42): sustentação, peso, empuxo e arrasto.



Figura 42 Exemplificação das forças aerodinâmicas

Para o cálculo das forças existem vários conceitos aerodinâmicos relativos às forças aerodinâmicas aplicados no simulador, relacionados com os elementos necessários ao cálculo das forças aerodinâmicas.

O **ângulo de ataque** de uma aeronave corresponde ao ângulo entre a linha de referência da asa e o vector representativo do fluxo de ar, ângulo por norma é representado utilizando a letra grega alfa (α) ver Figura 43.

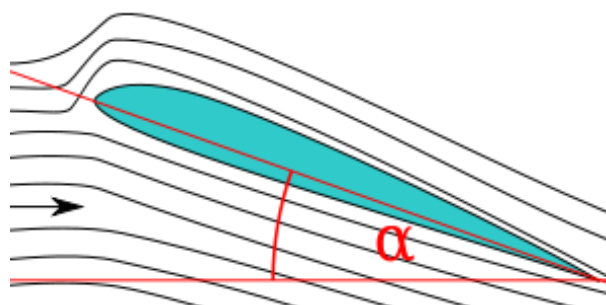


Figura 43 Exemplificação do ângulo de ataque [Dlouhý, 2003]

A **densidade do ar** depende de vários factores como temperatura, da substância gasosa que neste caso corresponde ao ar e da pressão do ar. A densidade do ar possui um cálculo muito complexo, para esta simulação para o cálculo da densidade do ar foi utilizada uma fórmula mais simples de Michael Richmond [Richmond, 2012] do Rochester Institute of Technology que cria uma aproximação do valor da densidade real, tendo como único parâmetro a altura da aeronave.

$$\rho = 1.21 \times e^{\left(\frac{-h}{8000}\right)} \quad (6)$$

, onde ρ corresponde à densidade do ar, e é uma constante designada por número de Neper, h é a altura da aeronave em metros.

O **coeficiente de sustentação** entre a pressão de sustentação e a pressão dinâmica (neste caso do ar), o seu valor depende do formato da asa e respectivo angulo de ataque.

$$C_l = 2 \times \pi \times \alpha \quad (7)$$

, onde C_l corresponde ao coeficiente de sustentação, π é uma constante, sendo α o ângulo de ataque da aeronave em radianos.

A **força de sustentação** é uma força aerodinâmica perpendicular ao fluxo de ar quando esta está em movimento. Para o avião se elevar esta força tem que ser superior ao peso.

$$L = C_l \times A \times \left(\frac{1}{2} \times \rho \times V^2\right) \quad (8)$$

,onde L corresponde à sustentação da aeronave, sendo C_l o coeficiente de sustentação, A a área total das asas do avião, ρ a densidade do ar, V a velocidade do ar em metros por segundo.

O **alongamento da asa** depende do *planform* que é o formato/morfologia da asa do avião, existem vários tipos de formatos [Nasa, 2013]. A Figura 44 contém os tipos de asa mais comuns e a Tabela 5 inclui a descrição dos mesmos.

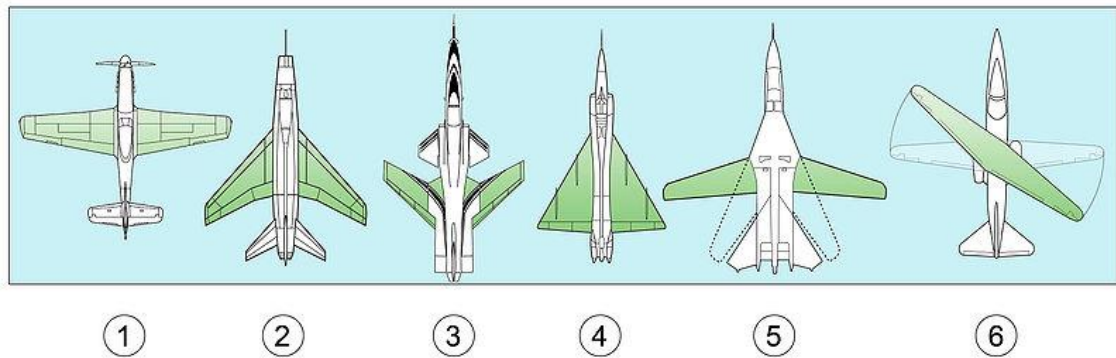


Figura 44 Formatos de asas da aeronave. [Grigio, 2008]

Tabela 5 – Identificação de formatos de asa de aeronaves

Identificador	Formato de Asa/ Planform	Descrição
1	Asa trapezoidal	Este tipo de asa possui a forma de um trapézio e é característico de aviões que utilizam rotores, formato mais comum até a criação de aviões a jacto.
2	Asa enflechada	Este tipo de é o formato mais comum em aeronaves civis e militares, e permite níveis de velocidade elevados e maior estabilidade
3	Asa enflechamento negativo	Este formato ainda não é muito comum, mas é utilizado em aeronaves experimentais como o X-29 da NASA e Su-47.
4	Asa delta	Este formato gera mais estabilidade à aeronave sendo utilizado em bombardeiros como o XH558 “Vulcan” e em alguns caças como o F-106 “Delta Dart”.
5	Asa de geometria variável	Este formato permite alterar o formato da asa em pleno voo sendo utilizado em bombardeiros como o B-1 “Lancer” e em alguns caças como o F-111 “Aardvark”.
6	Asa oblíqua	Este formato é utilizado unicamente em aviões experimentais e caracteriza-se facto de permitir que a asa esteja em ângulos que não são comuns, podendo estar a asa oblíqua à direcção do avião, um exemplo deste tipo de aeronave é o avião da AD-1 “Oblique Wing” da NASA.

O alongamento da asa corresponde à relação entre a envergadura e a área da asa, sendo o aspecto ratio maior quando a envergadura da aeronave for maior (ver Figura 45).

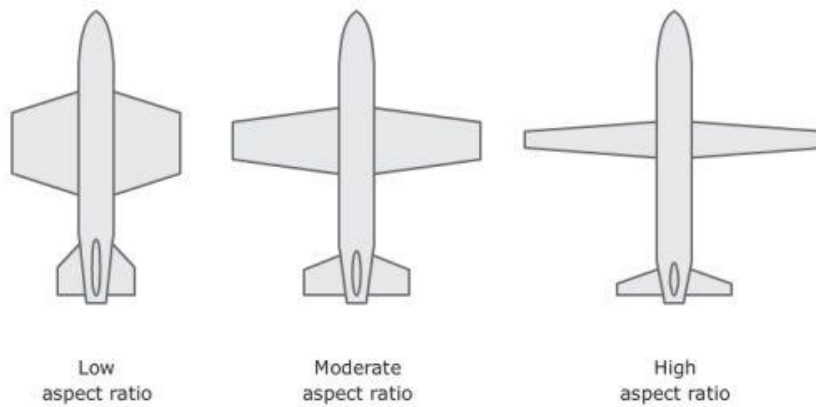


Figura 45 Explicação visual de aspect ratio. [Sciencelearn, 2013]

$$AR = \frac{S^2}{A} \quad (9)$$

,onde AR corresponde ao alongamento da asa da aeronave, sendo S o valor da envergadura das asas e A o valor da área total das asas.

Na nossa simulação foi assumido o **factor de eficiência** com base em Jon Anderson jr. da Revista Aircraft Performance & Design, que indica o valor 0.6 como valor comum para o factor de eficiência para aeronaves de asa fixa.

$$e = 0.6 \quad (10)$$

,onde e corresponde ao factor de eficiência.

O **coeficiente de arrasto** é a proporção da resistência da aeronave aos fluxos de ar.

$$C_d = \frac{C_l^2}{\pi \times AR \times e} \quad (11)$$

,onde C_d corresponde ao coeficiente de arrasto da aeronave, sendo C_l o coeficiente de sustentação (8), π é uma constante, AR representa a alongamento da asa da aeronave (9), e refere-se ao factor de eficiência (10).

A **força de arrasto** é a força de resistência ao movimento da aeronave no ar, ocorre devido à fricção gerada pela resistência do ar quando atravessado pela aeronave, esta força depende da velocidade do avião, depende também do formato e tamanho do avião, e é coincidente com o eixo da força de empuxo porém o seu sentido é oposto à força de empuxo.

$$D = C_d \times A \times \left(\frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \right) \quad (12)$$

,onde D corresponde à força de arrasto da aeronave, sendo C_d (11) o coeficiente de arrasto, A a área total das asas do avião, ρ a densidade do ar, V a velocidade do ar.

A **força de empuxo** (*Thrust*) é a força que move a aeronave pelo ar, no caso deste simulador o avião é um SR-71 "Blackbird" e o seu meio de propulsão são turbinas, os aviões a jacto usam turbinas e por isso geram mais força de empuxo do que aviões cujo meio de propulsão a hélices.

$$\begin{aligned} T \times \cos(\alpha) - D \times \cos(\alpha) - L \times \sin(\alpha) &= m \times a_h \\ \Leftrightarrow \\ T &= (m \times a_h + D \times \cos(\alpha) + L \times \sin(\alpha)) \div \cos(\alpha) \end{aligned} \quad (13)$$

,onde T corresponde à força de empuxo da aeronave, α corresponde ao ângulo de subida ou descida da aeronave, sendo m o valor massa da aeronave, D a força de arrasto, L a força de sustentação e a_h a componente horizontal da aceleração.

Peso é a força aplicada no objecto pela gravidade. Esta força é aplicada constantemente à aeronave.

$$P = m \times g \quad (14)$$

,onde P corresponde ao peso do objecto, sendo m a massa do objecto, e g é a constante de aceleração da gravidade (1).

Existem três rotações aplicadas na aerodinâmica sendo elas a arfagem, guinada e a rolagem, estas rotações podem ser aplicadas à aeronave separadamente ou em conjunto. Quando as rotações são efectuadas na aeronave as forças exercidas tendem a variar porque alteram a forma com que o fluxo de ar atravessa a aeronave. A arfagem corresponde à rotação da aeronave segundo o eixo lateral que corresponde ao eixo imaginário que interliga as asas, ver Figura 46, esta rotação inclina a aeronave para baixo ou para cima.



Figura 46 Demonstração do conceito de Arfagem/Pitch.

A guinada corresponde à rotação da aeronave segundo o eixo Normal / vertical que corresponde ao eixo perpendicular à aeronave, ver Figura 47, esta rotação roda a aeronave para esquerda ou a direita.



Figura 47 Demonstração do conceito de Guinada / Yaw.

A Rolagem corresponde à rotação da aeronave segundo o eixo longitudinal que corresponde ao eixo imaginário que interliga o nariz e a cauda, ver Figura 48, esta rotação tomba a aeronave para o lado da rolagem.

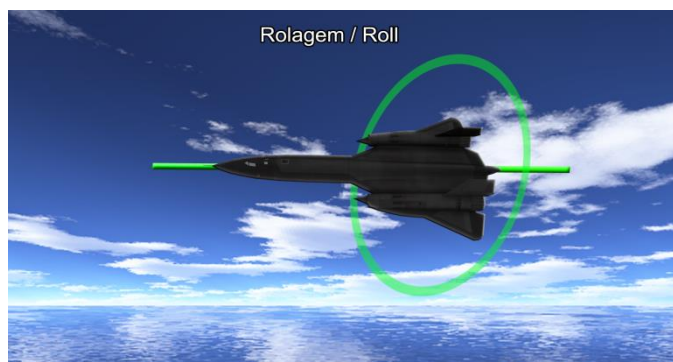


Figura 48 Demonstração do conceito de Rolagem / Roll.

3.1.4.1 Simulação de Forças aerodinâmicas

A simulação pretende que o utilizador seja capaz de compreender conceitos aerodinâmicos, para esse efeito a simulação contém uma representação de um avião (Lockheed SR-71b “Blackbird”). A força aerodinâmica pode ser dividida em quatro componentes: empuxo, arrasto, sustentação e peso. Quando o utilizador manipula o dispositivo háptico, o modelo modifica a posição do modelo de avião e altera as forças aplicadas permitindo assim ao utilizador sentir as componentes da força aerodinâmica resultantes decompostas de acordo com o eixo XYZ. A componente visual do módulo inclui uma skybox da atmosfera, e quatro sistemas de partículas, um sistema de partículas que simulam o fluxo de ar para cada asa, e um sistema de partículas para cada turbina do avião.

O utilizador deve iniciar a simulação clicando no botão que contém o símbolo de energia até ficar premido e com cor verde, este botão encontra-se à esquerda do botão de ajuda, uma vez iniciada a simulação ele pode alterar a velocidade e o ângulo de ataque de forma visual com recurso ao rato ou utilizando as teclas de setas, a seta da esquerda e da direita controlam a velocidade, e a seta para cima e para baixo controla o angulo de ataque. A posição da aeronave é alterada manipulando a pega do Falcon e mediante a velocidade e a direcção a altitude é alterada de forma correspondente.

A aeronave possui vários estados de voo quando a velocidade é zero encontra-se em modo estacionário, quando a velocidade não é suficiente para gerar sustentação cuja força seja maior ou igual ao peso da aeronave o estado corresponde a levantar voo ou a aterrar a aeronave, quando é suficiente a aeronave encontra-se em pleno voo.



Figura 49 Execução do módulo de Forças aerodinâmicas

3.2 Descrição técnica do simulador

O simulador foi desenvolvido usando a linguagem de programação C++ unmanaged, e utiliza várias APIs (conjunto de interfaces de programação de aplicativos): usa DirectX 9.0c para desenvolvimento gráfico, TinyXML para leitura de ficheiros XML, e HDAL (Novint Haptic Device Abstraction Layer) para interacção com o dispositivo háptico Novint Falcon.

O simulador utiliza vários tipos de ficheiros relativos a modelos 3D, imagens com e sem transparência, sons e ficheiros XML; com a excepção dos ficheiros som, todos os ficheiros que se encontram na pasta “Modules” possuem a extensão “.DAT” para designar que são dados; mas internamente as imagens estão no formato de arquivo DDS (DirectDraw Surface), e os modelos 3D correspondem a ficheiros Legacy X binários, e os ficheiros XML correspondem a ficheiros XML normais. As imagens foram criadas usando Photoshop, Paint, IrfanView, Inkscape, e posteriormente foi utilizada a aplicação DirectX Texture Tool (DxTex.exe) fornecida com o SDK do DirectX. Os modelos foram criados e/ou convertidos utilizando o Blender e exportados para Legacy X e posteriormente convertidos para Legacy X binários utilizando MeshConvert.exe. As conversões de modelos para Legacy X binário e das imagens para DDS permite reduzir o tempo de carregamento durante a execução do simulador.

3.2.1 Suporte multilíngue

A simulação tem os seus conteúdos traduzidos em vários idiomas: Português, Espanhol, Inglês e Alemão. O idioma só pode ser alterado no menu principal, com a sobreposição das esferas dos idiomas (ver Figura 50), com o rato ou usando as teclas seta para cima e seta para baixo, sendo os conteúdos do sistema alterados automaticamente em conformidade com o idioma escolhido.



Figura 50 Selecção de idioma.

3.2.2 Estrutura dos recursos

O simulador necessita de uma pasta chamada “Modules” que contém os ficheiros dos recursos visuais necessários ao simulador, esta pasta contém pastas para os diferentes módulos de forças e uma pasta adicional designada por “System” que contém recursos utilizados de em todo o simulador. Todas as pastas de módulos contêm as imagens gerais desse módulo e uma pasta relativa ao idioma que internamente possui pastas cujos nomes correspondem a abreviações (por exemplo: EN corresponde a English) que contém as imagens necessárias aos menus. Existem pastas adicionais que contêm modelos e skyboxes, sons, e outras pastas para situações específicas como as imagens das texturas de fricção ou de pontuação.

```
Microsoft Windows [Versão 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\Users\Administrador.Utilizador-PC>cd C:\Program Files (x86)\GILT\Forces_Of_Physics
C:\Program Files (x86)\GILT\Forces_Of_Physics>tree
Lista de caminhos de pasta
O número de série do volume é 98BF-7C12
C:.
├── Modules
│   ├── Module_Aerodynamics
│   │   ├── Lang
│   │   │   ├── DE
│   │   │   ├── EN
│   │   │   ├── ES
│   │   │   └── PT
│   │   ├── Models_Aerodynamics
│   │   ├── Skybox_Aerodynamics
│   │   └── Sounds_Aerodynamics
│   ├── Module_Force_and_Friction
│   │   ├── Lang
│   │   │   ├── DE
│   │   │   ├── EN
│   │   │   ├── ES
│   │   │   └── PT
│   │   ├── Models_Force_and_Friction
│   │   ├── Sounds_Force_and_Friction
│   │   └── Textures_Force_and_Friction
│   ├── Module_Gravitation
│   │   ├── Lang
│   │   │   ├── DE
│   │   │   ├── EN
│   │   │   ├── ES
│   │   │   └── PT
│   │   ├── Models_Gravitation
│   │   ├── Score_Gravitation
│   │   └── Sounds_Gravitation
│   └── Module_System
│       ├── Lang
│       │   ├── DE
│       │   ├── EN
│       │   ├── ES
│       │   └── PT
│       └── Models_System
```

Figura 51 Estrutura de pastas da pasta de recursos “Modules”

Na Figura 52 encontra-se disponível o diagrama de classes utilizadas no desenvolvimento do simulador, para uma melhor compreensão do sistema.

3.2.3 Diagrama de classes

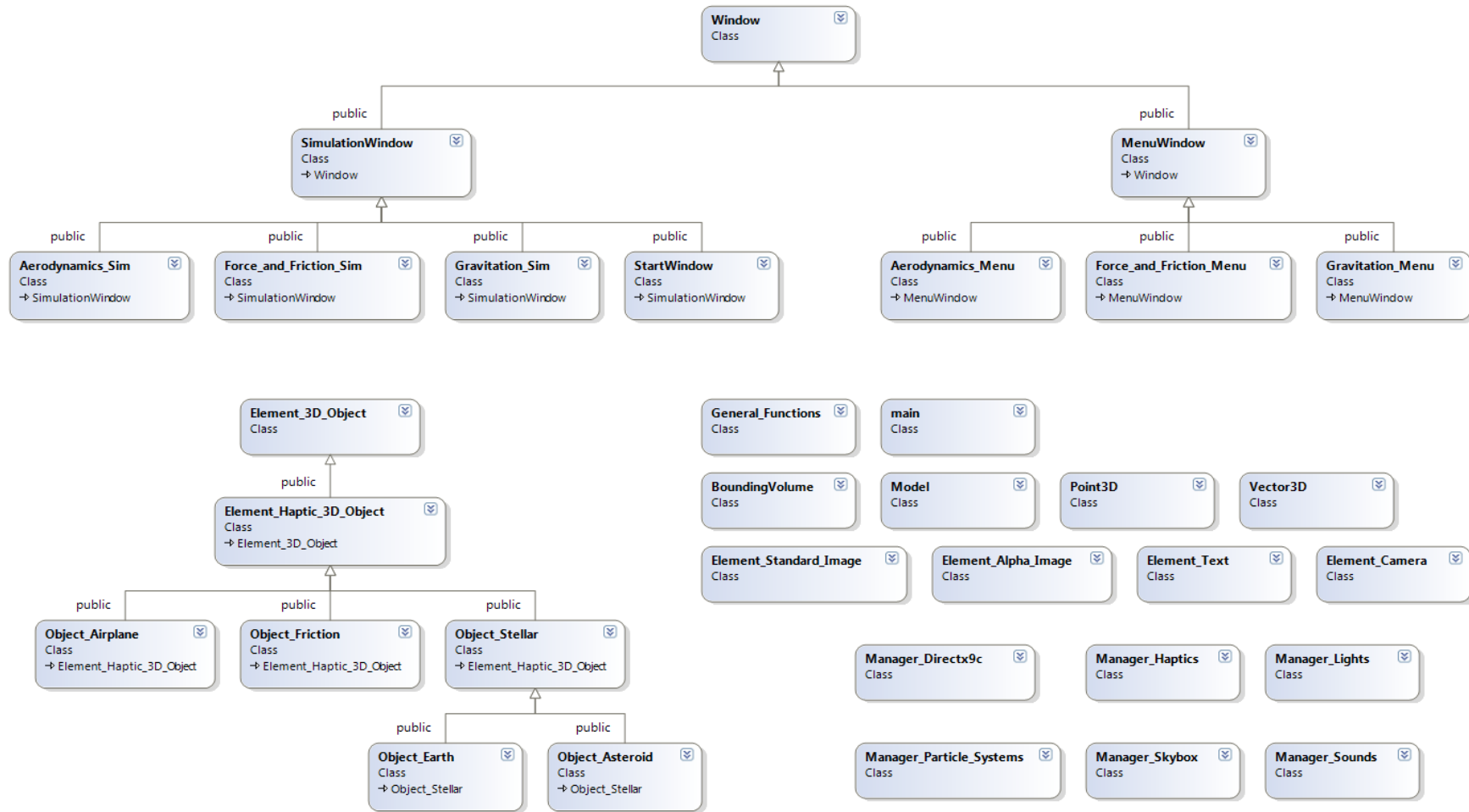


Figura 52 Diagrama de classes do projecto

3.2.4 Novint Falcon API

As APIs usadas no Novint Falcon podem ser usadas para criar capacidades hápticas internas à aplicação (existem várias aplicações criadas de raiz pela Novint), ou podem ser também utilizadas para adicionar capacidades hápticas a aplicações criadas por terceiros.

Aplicações que utilizam o Falcon podem ser classificadas como sendo Falcon HD ou F-Gen. Aplicações Falcon HD é a designação utilizada para definir as aplicações que possuem acesso directo ao código fonte e por isso usam HDAL. Aplicações F-Gen é a designação utilizada para definir as aplicações que utilizam a API F-Gen como complemento a aplicações existentes para as quais não existe acesso directo ao código fonte.

HDAL (Haptic Device Abstraction Layer)

HDAL é a API de baixo nível criada pela Novint usada para o seu dispositivo Falcon, a API está escrita em c++ e permite a comunicação entre o Falcon e o computador. HDAL permite acesso a mais funções e recursos do Falcon mas deve ser utilizada por programadores com conhecimentos em c++, tendo este a responsabilidade de garantir uma boa inicialização e encerramento do dispositivo. Cada vez que existe uma actualização interna da informação do Falcon, com uma duração aproximada de 1 KHz, sendo possível aceder às informações básicas do Falcon, como por exemplo posição, estado actual de um botão, a actualização permite ao programador actualizar a força aplicada pelo dispositivo.

F-Gen

F-Gen é a API de alto nível criada pela Novint usada para o seu dispositivo Falcon, foi criada para facilitar a integração do Falcon com um elevado número de jogos existentes, com o uso de scripts (alguns são da Novint outros são externos criados por exemplo pela comunidade nomeadamente Falcon Army), sendo o seu uso em princípio mais simples que HDAL mais pouco poderoso, usado para adicionar certas forças existentes em jogos, por exemplo força de disparo, F-Gen também pode ser utilizado como um rato 3D sem capacidades hápticas (isto é sem ter forças aplicadas), permitindo o seu uso em qualquer jogo computador.

Os scripts são criados especificamente para cada jogo, é muito difícil um script funcionar num jogo que não seja aquele para o qual foi criado.

3.2.5 Sistema de Janelas

Para esta aplicação foi criado um sistema de janelas que permite criar a janela seguinte dentro da janela actual, e verificar se a janela seguinte deixou de existir ou possui indicação de retorno à janela anterior. O sistema permite que quando uma janela for activada após uma desactivação temporária da janela devido à utilização de teclas do sistema operativo, por exemplo quando é utilizada a combinação de teclas Alt e Tab. A forma como ele faz a reactivação é automática e simples, é apresentada uma imagem do ecrã da última vez que a janela foi utilizada antes de ser desactivada, por cima da imagem é apresentada uma imagem simbolizando pausa (ver Figura 53), enquanto o sistema reinicializa as janelas em background. Existem várias classes directamente relacionadas com o sistema de Janelas existente, várias classes correspondem a diferentes tipos de janelas mas a maior parte corresponde a elementos que podem ser incluídos nas janelas.



Figura 53 Indicador de pausa

3.2.5.1 Estados de Janela

Os estados da janela estão definidos na classe WINDOWSTATE (ver Código 1), o estado actual de uma janela sempre a um dos seguintes estados: PREV, STANDARD e NEXT. No caso de a janela ser uma janela de menu existem dois estados de menu que também são aplicados à janela.

```
struct WINDOWSTATE
{
    enum { PREV = 0, STANDARD = 1, NEXT = 2, MENU_OP_NEWGAME=3, MENU_OP_EXIT=4};
}
```

Código 1 – Estados de janela

O estado PREV é aplicado a uma janela quando se pretende que esta deixe de existir e que o sistema de janelas retorne à janela anterior.

O estado STANDARD é aplicado a uma janela quando se pretende indicar que a janela corresponde à janela activa no sistema de janelas.

O estado NEXT é aplicado a uma janela quando se pretende indicar que a janela não está activa mas a sua janela seguinte corresponde à janela activa no sistema de janelas.

Existem dois estados de menu, que são respectivamente: MENU_OP_NEWGAME (quando o menu tem a opção de novo jogo activa) e MENU_OP_EXIT (quando o menu tem a opção de novo jogo activa), estes estados são aplicados como estados adicionais unicamente nas janelas de menu.

3.2.5.2 Janela Base

A janela base corresponde à classe Window que permite criar uma janela com dimensões específicas de largura e altura, mas por norma as janelas foram criadas com as dimensões do ecrã. A janela base possui métodos internos essenciais a todas as janelas, e à execução do sistema de janelas, destes métodos os mais relevantes são métodos para detecção de cliques com o rato, detecção de tecla premida, definição e/ou obtenção do volume de som da janela e por último a definição e/ou obtenção do estado actual da janela sendo estes utilizados para definir qual a janela activa num determinado instante dentro do sistema de janelas de forma a só realizar a actualização da janela activa bem como a renderização da mesma.

3.2.5.3 Janelas de Menu

As janelas derivadas de janela de menu permitem facilmente criar janelas que possuem um menu com duas opções, opção de novo jogo ou opção de sair. A opção de sair permite retornar à janela anterior do sistema de janelas, a opção novo jogo efectua a transição do menu para as janelas de simulações dos módulos nos quais são utilizadas capacidades hápticas. A janela de menu corresponde à classe MenuWindow que possui métodos internos que gerem o menu, como transição entre as opções, e a renderização automática das imagens de fundo, do botão novo jogo e botão de saída. O utilizador possui o método Init_App_Images para a inclusão de imagens adicionais.

3.2.5.4 Janelas de Simulação

As janelas derivadas da janela de simulação permitem facilmente criar janelas que permitem a execução de simulações hápticas. A janela de simulação corresponde à classe SimulationWindow. Um caso particular foi o caso do menu principal que a primeira janela a ser executada e que corresponde à classe StartWindow. Apesar de esta classe ser derivada de uma janela simulação, não teve nenhuma capacidade háptica atribuída. As capacidades hápticas são providenciadas pela classe Manager_Haptics que cria a interligação com o Falcon, e pelas subclasses de Element_Haptic_3D_Object nas quais se obtêm e se alteram as forças e a posição do Falcon. Estas janelas possuem um sistema de interno carregamento no qual é apresentado ao utilizador uma transição de imagens do símbolo de carregamento (ver Figura 54), a transição é efectuada para cada fase de carregamento na qual a imagem

base é rodada 36 graus e aplicando uma cor sobreposição de cores que varia do vermelho para o verde (ver Figura 55), alterando a cor e a rotação deste de forma a indicar ao utilizador que a janela está a carregar as suas componentes internas como Imagens, textos, etc. Quando o carregamento termina é apresentada a janela de simulação ao utilizador. Se a conexão ao Falcon falhar é apresentado ao utilizador um conjunto de avisos com o propósito de rectificar a conexão.

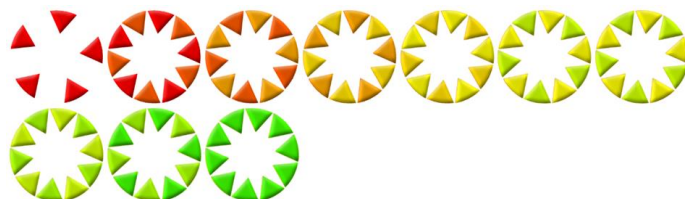


Figura 54 Indicadores do carregamento



Figura 55 Imagem do símbolo de Load

3.2.6 Elementos adicionados a Janelas

Existem dois grupos de elementos que são incluídos em janelas, o primeiro grupo enquadra elementos cujo nome de classes incluía “Element”, estando estes associados a elementos simples adicionados às janelas como imagem, texto, etc. O segundo grupo enquadra elementos complexos cujo nome de classes incluía “Manager”, sendo estes capazes de gerir a abstracção de objectos complexos como luz, camara, sistemas de partículas, etc.

3.2.6.1 Element_Standard_Image

Este tipo de objecto permite importar imagens sem transparência (ver Código 2), passando como parâmetros, o caminho da imagem pretendida e as dimensões pretendidas, sendo posteriormente necessário definir a posição no referencial XY. Este objecto possui um método interno chamado Is_MouseXY_InsideImage que permite saber se o rato se encontra por cima da imagem renderizada.

```
Imagem=new Element_Standard_Image();
Imagem->Load_Standard_Image(Get_Device(),
    "Modules\\Module_"+Get_Window_Name()+"\\SkyBackground.DAT",
    Get_App_Screen_Width(),
    Get_App_Screen_Height());
ImagemAlfa->Set_Position(0,0);
```

Código 2 – Criação de imagens normais sem transparência

3.2.6.2 Element_Alpha_Image

Este tipo de objecto permite importar imagens com transparência ou sem transparência (ver Código 3), passando como parâmetros o caminho da imagem pretendida e as dimensões pretendidas, sendo posteriormente necessário definir a posição no referencial XYZ, a posição no eixo Z corresponde ao buffer de profundidade, sendo possível definir a profundidade pretendida da imagem a ser renderizada. Este elemento permite que se desenhe uma imagem com opacidade, sendo o valor da opacidade a componente alfa do formato de cor RGBA, e inclui contingências para redimensionamento interno na classe para o caso de o programa ser executado em computadores com placas gráficas mais antigas que não permitem texturas que não sejam potências de dois (isto é, não permitem a opção D3DX_DEFAULT_NONPOW2). Este objecto possui um método interno chamado Is_MouseXY_InsideImage que permite saber se o rato se encontra por cima da imagem renderizada, e que também permite desconsiderar pixels com transparência na sobreposição do rato usando o método Is_Pixel_InsideAlphaImage, porém demora mais tempo a ser executado devido ao facto de ler os pixels da imagem em memória e depois detectar se o pixel correspondente à posição do rato possui ou não possui transparência. É possível definir uma sobreposição de uma cor a toda a imagem a ser realizada na renderização, para este efeito é necessário utilizar o método Set_ColorOverlay para definir a cor RGBA, e utiliza o método Render_ColorOverlay_Element_Alpha_Image para a renderização da imagem final.

```
ImagemAlfa=new Element_Alpha_Image();
ImagemAlfa->Load_Alpha_Image(Get_Device(),
    "Modules\\Module_"+Get_Window_Name()+"\\StandardAreaImage.DAT",
    static_cast<int>(Get_App_Screen_Width()*0.17),
    static_cast<int>(Get_App_Screen_Height()*0.13),false,false);

ImagemAlfa->Set_Position(
    static_cast<int>(Get_App_Screen_Width()*0.25),
    static_cast<int>(Get_App_Screen_Height()*0.01),0);
```

Código 3 – Criação de imagens com transparência

3.2.6.3 Element_Text

Este tipo de objecto permite criar textos (ver Código 4) com o tipo de letra Arial sendo possível definir o tamanho da letra, posição, a cor do texto e as suas dimensões que correspondem à altura e largura da caixa de texto que delimita o texto renderizado. A janela base contém três tipos de tamanhos de fontes predefinidos, pequeno, grande e muito grande.

```

Text =new Element_Text();
Text->Set_Text_Dimensions( static_cast<int>(Get_App_Screen_Width()*0.8),
                          static_cast<int>(Get_App_Screen_Height()*0.5));

Text->Set_Text_Color(D3DCOLOR_XRGB(0,0,0));
Text->Init_Text(static_cast<DWORD>(Get_Size_FontType_VeryLarge()),Get_Device());
Text->Set_Text_String("Hello");
Text->Set_Text_Position( static_cast<int>(Get_App_Screen_Width()*0.3),
                        static_cast<int>(Get_App_Screen_Height()*0.03));

```

Código 4 – Criação de texto

3.2.6.4 Element_Camera

Este objecto facilita a criação de uma câmara, sendo possível definir as dimensões, o posicionamento do plano próximo e do plano afastado da câmara, a posição da câmara e o ponto para o qual ela deve estar direccionada. No Código 5 é possível ver a atribuição de uma câmara à janela.

```

Set_Window_Camera(new Element_Camera(Get_App_Screen_Width(),
                                     Get_App_Screen_Height()));
Get_Window_Camera()->Create_Camera(Get_Device(), 1.0f, 1000.f);
Get_Window_Camera()->Set_Position(D3DXVECTOR3(0.0f,0.0f,-6.0f));
Get_Window_Camera()->Set_Look_At(D3DXVECTOR3(0.0f,0.0f,0.0f));
Get_Window_Camera()->Reset_View();

```

Código 5 – Criação de câmara

A câmara inclui o método Compute_Frustum para cálculo do frustum da câmara, que neste caso corresponde ao volume de uma pirâmide sem a sua parte superior (ver Figura 56), a câmara desenha os objectos que se encontram dentro do frustum, o método Is_Point_Inside_Camera_Frustum_V2 permite saber se um objecto se encontra dentro do frustum.

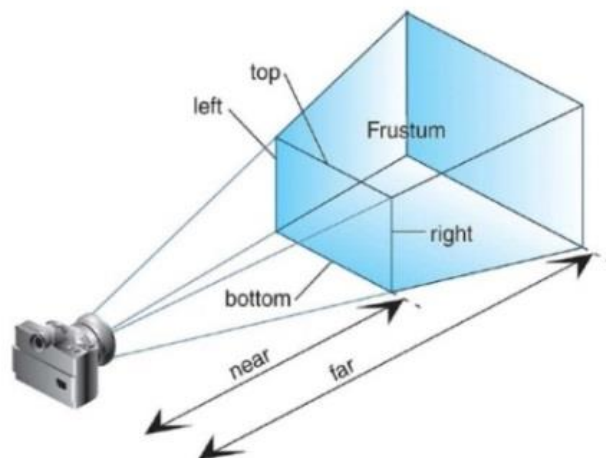


Figura 56 Frustum de uma câmara. [Acm, 2013]

3.2.6.5 Element_3D_Object

Este objecto facilita a inclusão de objectos 3D sem capacidades hápticas em aplicações (ver Código 6), utiliza internamente um objecto da classe Model para importar um modelo 3D no formato Legacy X binário ou de texto. É possível aplicar posicionamentos, escalonamentos e rotações e também atribuir um volume paralelepípedo relativo aos limites de movimentos nos referenciais XYZ, no qual estão definidas as posições máximas e mínimas para cada eixo. Possui vários métodos adicionais que permitem: obter a mesh do modelo 3D, definir a opção para renderizar só o material e não a textura, definir estados de renderização do objecto como Sólido no qual o objecto é renderizado totalmente, Estrutura de arame na qual é apresentada só a estrutura das arestas ligadas do objecto e finalmente Pontos que apresenta os vértices do modelo.

```
Objecto= new Element_3D_Object(  
    "Modules\\Module_"+Get_Window_Name()+"\\Models_Force_and_Friction\\Box.DAT");  
    Objecto->Init(Get_Device());  
    Objecto->Set_Scale(1,1,1,Get_Device());  
    Objecto->Set_Position(0,0,0);  
Objecto->Set_Object_Model_Texture(  
    "Modules\\Module_"+Get_Window_Name()+"\\WallTexture.DAT",Get_Device());
```

Código 6 – Criação de objectos 3D

3.2.6.6 Element_Haptic_3D_Object

Este objecto é semelhante ao objecto Element_3D_Object porém permite capacidades hápticas, porque contém um objecto do tipo manager_haptics que permite interligar com o dispositivo háptico Falcon, e métodos que permitem definir as forças e a obter a posição do Falcon No Código 7 é possível ver a criação do objecto e a atribuição do objecto Manager_Haptics associado à janela de simulação no qual o objecto 3D háptico vai ser incluído.

```
SR71b=new Object_Airplane( CUBESTIFNESS,  
    "Modules\\Module_"+Get_Window_Name()+"\\Models_"+Get_Window_Name()+"\\BlackBird  
    V8Rbin.DAT",  
    "",true,  
    Get_Current_Haptic_Device());  
  
    SR71b->Init(Get_Device());  
    SR71b->Set_Mass(52250.0);  
    SR71b->Set_Altitude(10000);  
    SR71b->Set_Maximum_Altitude(26000.0);  
    SR71b->Set_WingSpan(16.94);  
    SR71b->Set_WingsArea(166.761);  
    SR71b->Set_Bounding_Volume(Get_Sim_Bounding_Volume());  
    SR71b->Set_Scale(0.3,0.3,0.3,Get_Device());  
    SR71b->Set_Position(0,0,0);
```

Código 7 – Criação de objectos hápticos 3D

3.2.6.8 Manager_Haptics

Este objecto cria a interligação como dispositivo Falcon usando a API HDAL, devendo existir só um elemento deste tipo activo num determinado momento por cada dispositivo Falcon que exista, actualmente a janela de simulação internamente possui métodos internos para a criação e destruição deste objecto. Para a sua criação ser válida o Falcon deve estar devidamente conectado. Este objecto permite definir as dimensões do espaço de movimento da pega do Falcon e transformar os movimentos dos referenciais internos do Falcon em posições XYZ da aplicação. A janela de simulação internamente desliga e destrói a ligação, se no futuro for criado um outro tipo de janela háptica que não seja um janela de simulação, é preciso ter em conta o facto de necessário desligar a ligação deve ser desligada antes de ser destruída usando o método UnInit, caso contrário ele tenta instanciar uma ligação ao Falcon e gera comportamentos indefinidos podendo funcionar ou falhar aleatoriamente.

3.2.6.9 Manager_Lights

Este objecto permite criar um gestor de luzes capaz de gerar e adicionar luzes posicionais (que correspondem a luzes originárias de um ponto e que se propagam de forma omnidireccional). É possível atribuir posições e alterar o alcance de iluminação das luzes geradas. No Código 9.encontra-se um exemplo que contém atribuição do gestor de luzes à janela, juntamente com a criação de novas luzes.

```
Set_Lights_Manager( new Manager_Lights(Get_Device()) );
int light_one = Get_Lights_Manager()->Create_Light();
Get_Lights_Manager()->Set_Light_Position(light_one,
                                         D3DXVECTOR3(0.0f,7.0f,-13.0f));
Get_Lights_Manager()->Set_Light_Range(light_one, 100.0f);
int light_two = Get_Lights_Manager()->Create_Light();
Get_Lights_Manager()->Set_Light_Position(light_two,
                                         D3DXVECTOR3(0.0f,7.0f,10.0f));
Get_Lights_Manager()->Set_Light_Range(light_two, 100.0f);
```

Código 9 – Criação e uso de gestor de Luzes

3.2.6.10 Manager_Particle_Systems

Este objecto permite criar um sistema de partículas tridimensional que corresponde ao desenho de um número elevado de imagens de forma a simular fenómenos reais ou imaginários. Alguns dos fenómenos mais reconhecidos que são recriados pelos sistemas de partículas correspondem ao fogo, vento, explosões, fumo. O sistema de partículas desenvolvido permite definir vários parâmetros como textura a ser aplicada às partículas (só permite que a mesma textura seja aplicada a todas as partículas), número máximo de partículas, intervalo de libertação de partículas, duração das partículas, tamanho das partículas, a cor de sobreposição da textura que é aplicada às

partículas, definir a posição inicial das partículas, velocidade da partículas e variação da velocidade. É também possível alterar parâmetros relacionados com física como velocidade do vento, gravidade. Apesar do sistema permitir definir uma mesh de colisão (que corresponde à malha de vértices de um objecto 3D), esta função só é utilizada em casos específicos devido ao facto de a sua execução ser mais lenta devido ao número de cálculos efectuados. Este objecto optimiza o desenho das partículas utilizando o buffer de vértices e desenhando os vértices com primitivas de renderização do DirectX com D3DPT_POINTLIST. Internamente a textura da partícula é criada e guardada num objecto Element_Alpha_Image.

```

ParticleSystems[LeftWing] = new Manager_Particle_Systems(
Get_Device(), "Modules\\Module_"+Get_Window_Name()+"\\CloudParticle.DAT");

ParticleSystems[LeftWing]->Set_Max_Num_Particles( 200 );

ParticleSystems[LeftWing]->Set_NumParticles_To_Release( 5 );

ParticleSystems[LeftWing]->Set_Particle_Release_Interval( 0.0000000001f );

ParticleSystems[LeftWing]->Set_Particle_Life_Cycle( 12.0f );

ParticleSystems[LeftWing]->Set_Particle_Size(0.05f);

ParticleSystems[LeftWing]->Set_Color( D3DXCOLOR( 1.0f, 1.0f, 1.0f, 1.0f ));

ParticleSystems[LeftWing]->Set_Particle_Position(D3DXVECTOR3(-1.0f,0.7f,1.3f));

ParticleSystems[LeftWing]->Set_Particle_Velocity( D3DXVECTOR3(0.0f,0.0f,0.0f));

ParticleSystems[LeftWing]->Set_Particle_Gravity(D3DXVECTOR3(0.0f, 0.0f, 0.0f));

ParticleSystems[LeftWing]->Set_Particle_Wind_Speed(
D3DXVECTOR3(0.0f, 0.0f, -1.0f) );

ParticleSystems[LeftWing]->Set_Particle_Velocity_Variation( 0.1f );

ParticleSystems[LeftWing]->Set_Particle_Collison_Mesh(
SR71b->Get_3D_Object_Model_Mesh());

```

Código 10 – Criação de um sistema de partículas

3.2.6.11 Manager_Skybox

As skyboxes permitem criar fundos em ambientes gráficos, estes fundos criam a ilusão de que um determinado espaço percebido como sendo mais vasto. Este objecto permite criar uma skybox, sendo possível definir o tamanho da skybox, a sua posição, as seis texturas a ser aplicadas às faces da skybox (que correspondem às faces interiores de um cubo) e as dimensões das texturas (ver Código 11).

```

Skybox_TexturesList.reserve(1);
Skybox_TexturesList.push_back("TropicalSunnyDay");
Index_Skybox_TexturesList=0;
Sky= new Manager_Skybox(200,D3DXVECTOR3(0.0f,0.0f,0.0f));

```

```

Sky->loadManager_Skybox(Get_Device(),
  "Modules\\Module_"+Get_Window_Name()+"\\Skybox_"+Get_Window_Name()+"\\"+Skybox
  _TexturesList[Index_Skybox_TexturesList]+"_front.DAT",
  "Modules\\Module_"+Get_Window_Name()+"\\Skybox_"+Get_Window_Name()+"\\"+Skybox
  _TexturesList[Index_Skybox_TexturesList]+"_back.DAT",

  "Modules\\Module_"+Get_Window_Name()+"\\Skybox_"+Get_Window_Name()+"\\"+Skybox
  _TexturesList[Index_Skybox_TexturesList]+"_right.DAT",
  "Modules\\Module_"+Get_Window_Name()+"\\Skybox_"+Get_Window_Name()+"\\"+Skybox
  _TexturesList[Index_Skybox_TexturesList]+"_left.DAT",

  "Modules\\Module_"+Get_Window_Name()+"\\Skybox_"+Get_Window_Name()+"\\"+Skybox
  _TexturesList[Index_Skybox_TexturesList]+"_up.DAT",
  "Modules\\Module_"+Get_Window_Name()+"\\Skybox_"+Get_Window_Name()+"\\"+Skybox
  _TexturesList[Index_Skybox_TexturesList]+"_down.DAT",
  1920,1440);

```

Código 11 – Criação de skyboxes

3.2.6.12 Manager_Sounds

Este objecto permite criar um gestor de sons (ver Código 12) que possibilita tocar um som. Existem dois métodos para tocar sons, sendo necessário em ambos passem como parâmetro o caminho do ficheiro de som. Só são permitidos ficheiros no formato WAV.

```

sound = new Manager_Sounds();
if(sound!=NULL){
    sound->Init_Sounds(Get_Handle());
}

```

Código 12 – Criação de gestor de sons

Com o método Play_Sound o som seja tocado uma única vez, com o método Loop_sound é possível tocar o mesmo som indefinidamente, deste o modo quando o som termina de tocar, volta a tocar do início (ver Código 13).

```

Enable_Flag_Sound(true);
Get_Sound_Manager()->Loop_Sound(
  "Modules\\Module_"+Get_Window_Name()+"\\Sounds_"+Get_Window_Name()+"\\AERODYNAM
  ICS.WAV",0);

```

Código 13 – Uso de gestor de sons

3.3 Manual de Utilização

O utilizador deve garantir que o simulador foi devidamente instalado. É aconselhado que quando o utilizador inicie as simulações esteja afastado do Falcon porque este aplica forças e se o utilizador estiver desprevenido pode sofrer lesões.

Quando executar o simulador verificar se o Falcon se encontra devidamente ligado se não estiver é apresentado um aviso ao utilizador contendo indicações de forma a solucionar o problema (ver Tabela 6).

Tabela 6 – Cuidados a ter com a ligação do dispositivo háptico

Avisos
Se o Falcon não for detectado pelo computador, convém verificar se tanto o cabo USB e o cabo de energia estão devidamente conectados ao seu computador.
Se o Falcon não for devidamente inicializado durante uma simulação, convém verificar a cor do emblema no dispositivo háptico que indica o estado do dispositivo, a fim de utilizar correctamente o Falcon
Se a cor do emblema for vermelha então é necessário reposicionar a pega do Falcon para dentro até ao centro e depois para o exterior até a cor mudar para verde.
Se a cor do emblema for verde então o Falcon está pronto para ser usado sendo necessário mover a pega até a simulação iniciar.

Para além do uso do rato é possível utilizar teclas para a realização de acções no simulador estando estas descritas na Tabela 7.

Tabela 7 – Configuração geral de teclas

Teclas	Funções
ESC	Cancelar aviso ou janela
F1	Ajuda
ENTER	Seleccionar / Activar elemento seleccionado
+	Aumentar Som
-	Diminuir Som
Setas	Permitem mudar elementos

As teclas representativas das setas possuem várias funções mediante a janela activa (ver Tabela 8)

Tabela 8 – Funções das setas

	Menu Principal	Menus	Simulação do módulo de Fricção	Simulação do módulo de Gravitação	Simulação do módulo de Aerodinâmica
Seta para a direita	Altera o módulo seleccionado	-	Aplica a textura anterior na superfície	-	Aumenta a velocidade da aeronave
Seta para a esquerda	Altera o módulo seleccionado	-	Aplica a textura seguinte na superfície	-	Diminui a velocidade da aeronave
Seta para cima	Altera a língua do sistema	Novo Jogo	Aplica a textura seguinte no cubo	-	Aumenta o ângulo de ataque da aeronave

Seta para baixo	Altera a língua do sistema	Sair	Aplica a textura anterior no cubo	-	Diminui o ângulo de ataque da aeronave
-----------------	----------------------------	------	-----------------------------------	---	--

3.3.1 Instalador

O instalador Forces_Of_Physics_StandAlone_Installer.exe foi criado com recurso à ferramenta NSIS (Nullsoft Scriptable Install System) ver Figura 57, tendo sido criado um script para gerar o executável capaz de instalação do simulador de física “Forces of Physics” capaz de instalar o simulador com todos os ficheiros, APIs e Frameworks necessários à sua execução.

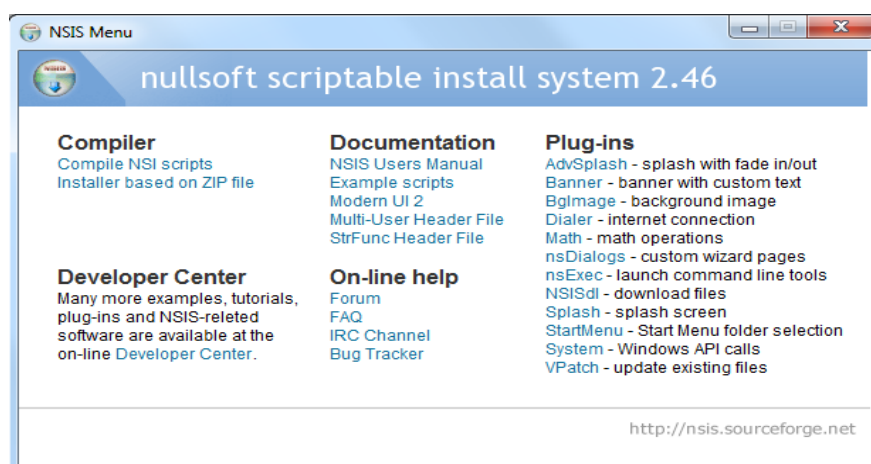


Figura 57 Exemplo de NSIS

O Instalador inclui internamente vários instaladores necessários para a correcta instalação e subsequente execução do simulador (ver Tabela 9).

Tabela 9 – Conteúdo do instalador Forces_Of_Physics_StandAlone_Installer.exe

Instaladores incluídos:	
app.exe	Instalador dos ficheiros do simulador “Forces of Physics”, este instalador tem que ter sempre o nome app.exe de forma a ser reconhecido pelo script desenvolvido.
DX.exe	Instalador responsável pela instalação do DirectX 9.0c que extrai para uma pasta temporária os ficheiros do instalador directx_Jun2010_redist.exe, e executa DXSetup.exe instalando o DirectX no sistema.
dotNetFx40_Full_x86_x64.exe	Instalador da Framework dotNet

setup.Falcon.v4.0.28.0_100707.exe	Instalador dos Drivers do Dispositivo Novint Falcon
setup.F-Gen_1.0.0_Beta3.exe	Instalador que internamente possui a versão mais recente da HDAL, apesar de instalar F-Gen o simulador não utiliza a API.

O executável de instalação app.exe é gerado utilizando NSIS com a opção “Installer based on ZIP file”, ver Figura 57, sendo adicionado o ficheiro de ZIP chamado “app.zip”. O ficheiro ZIP contém na sua raiz (ver Figura 58) o executável gerado pelo Visual Studio 2010, a pasta “Modules” que contém os recursos de imagens, sons e modelos do simulador, e quatro ficheiros necessários à execução do simulador relativo ao “Microsoft Visual C++ Redistributable” para computadores com arquitecturas de 32 bits e de 64 bits.

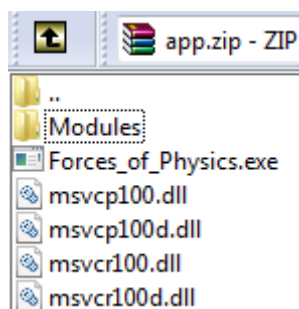


Figura 58 Visualização do conteúdo de app.zip usando WinRAR

O instalador do simulador é gerado utilizando NSIS com a opção “Compile NSI scripts”, ver Figura 57, sendo compilado o script “Forces_Of_Physics_StandAlone_Installer.nsi”.

O instalador no início permite ao utilizador escolher o idioma de instalação como demonstrado na Figura 59 de seguida o instalador instala por passos os componentes da instalação.

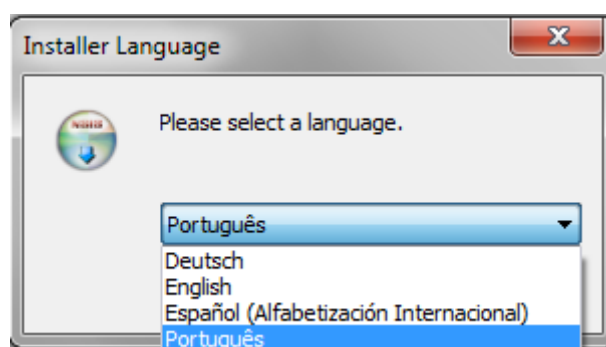


Figura 59 Escolha de idioma de instalação

Após a instalação convém verificar se a ligação ao computador e à fonte eléctrica estão bem estabelecidas, se as ligações estiverem funcionais o emblema do Novint Falcon fica iluminado. A simulação só funciona se o emblema estiver iluminado.

3.4 Avaliação

A fase de avaliação tem como objectivo validar o trabalho desenvolvido com recurso a testes de utilização, análise da aprendizagem obtida pelos utilizadores e a recolha das opiniões dos utilizadores. Para este propósito foi criado um questionário utilizando ferramenta de código livre e aberto / OSS (Open-Source Software) chamada LimeSurvey, que permite a criação, edição e realização de questionários online, a Figura 60 mostra uma pergunta do questionário gerado usando o LimeSurvey. O questionário pode ser respondido em inglês, alemão, português e espanhol e contém duas secções com cinco perguntas cada.

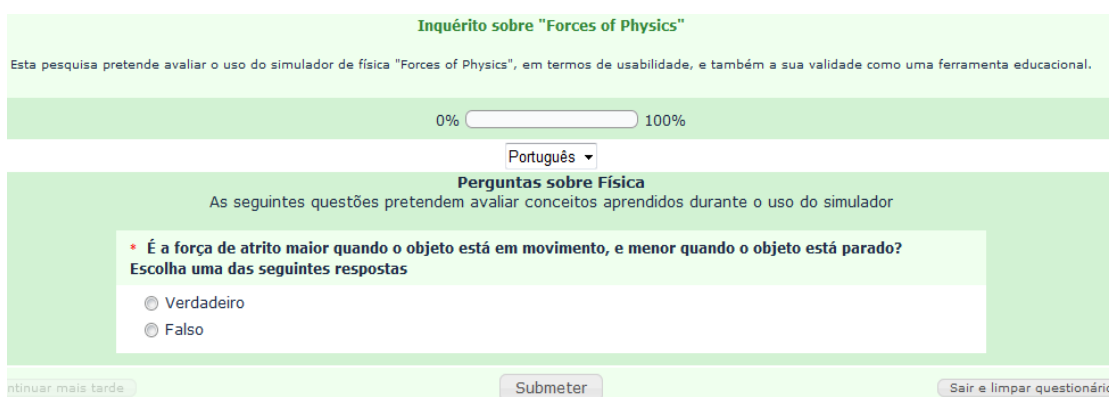


Figura 60 Exemplo de uma pergunta de avaliação no LimeSurvey.

A primeira secção do questionário corresponde à avaliação de conhecimentos obtidos sobre física usando o simulador “Forces of Physics” (ver Tabela 10), a segunda secção do questionário corresponde a uma avaliação da experiência de utilização do simulador pelos utilizadores (ver Tabela 11). O questionário de avaliação é anónimo e está disponível no seguinte endereço: <http://www.gilt.isep.ipp.pt/>.

Tabela 10 – Secção perguntas sobre Física

Pergunta:	Resposta Correcta	Outras respostas
É a força de atrito maior quando o objecto está em movimento, e menor quando o objecto está parado?	Falso	Verdadeiro
Quando o chão está molhado, os coeficientes de atrito são maiores do que quando o chão está seco?	Falso	Verdadeiro
É a força gravitacional entre dois objectos afectada pela distância entre eles?	Verdadeiro	Falso
Quantas forças aerodinâmicas podem ter o seu valor de força alterado, enquanto o avião se move?	3	1,2,4
Quando um avião tem pouca velocidade, as forças aplicadas resultantes pode ser definido como sendo de que tipo?	Vertical	Horizontal

Tabela 11 – Secção avaliação do simulador

Pergunta:	Respostas:
Qual foi o nível de forças aplicadas pelo Falcon?	Muito forte, Forte, Normal, Fraco, Muito fraco
Você foi capaz de aprender / entender conceitos de física utilizando o simulador?	Sim, Não
Você acredita que os simuladores devem ser usados em sala de aula?	Sim, Não
Qual é a sua opinião sobre o simulador "Forces of Physics"?	Excelente, Muito bom, bom Razoável, pobre
Sugestões?	

3.4.1 Avaliação do questionário

O questionário foi respondido por 14 pessoas forma anónima na internet após a utilização do simulador, é de referir que algumas pessoas já possuíam alguns conhecimentos sobre as forças da física, os resultados da avaliação foram os seguintes:

3.4.1.1 Secção de avaliação de conhecimentos

Esta secção pretende obter informações relativas aos níveis de conhecimento dos utilizadores após o uso do simulador, as perguntas estão relacionadas com conceitos abordados nas simulações. A pergunta “É a força de atrito maior quando o objecto está em movimento, e menor quando o objecto está parado?” cuja resposta correcta é “Falso” foi respondida correctamente por 50% dos utilizadores (Figura 61). A força de atrito é maior quando o objecto se encontra parado por causa do coeficiente de atrito estático ser sempre maior que que o coeficiente de atrito cinético.

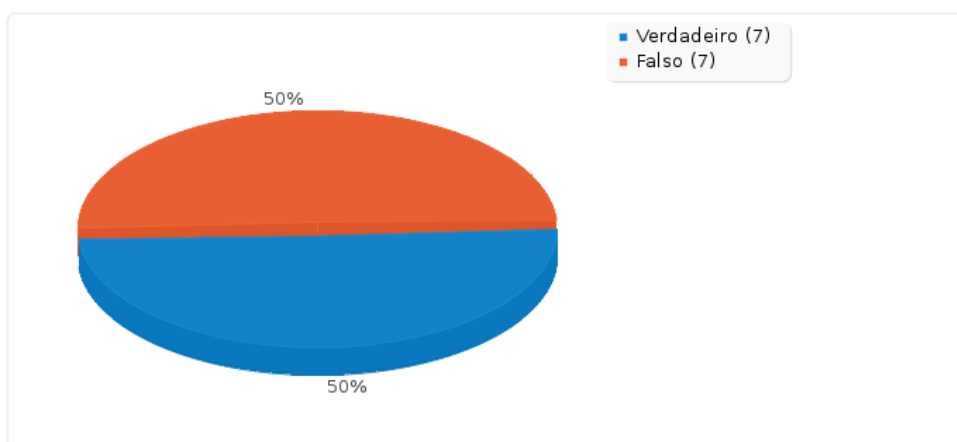


Figura 61 Resultados da primeira pergunta de conhecimentos.

A pergunta “Quando o chão está molhado, os coeficientes de atrito são maiores do que quando o chão está seco?” cuja resposta correcta é “Falso” foi respondida correctamente por 86% dos utilizadores (Figura 62). As superfícies dos objectos tendem a gerar menos fricção quando se encontram molhadas pelo facto de estarem lubrificadas com água e mais fricção a fricção é gerada unicamente por superfícies dos objectos secos. A lubrificação reduz a fricção causada pela rugosidade das superfícies.

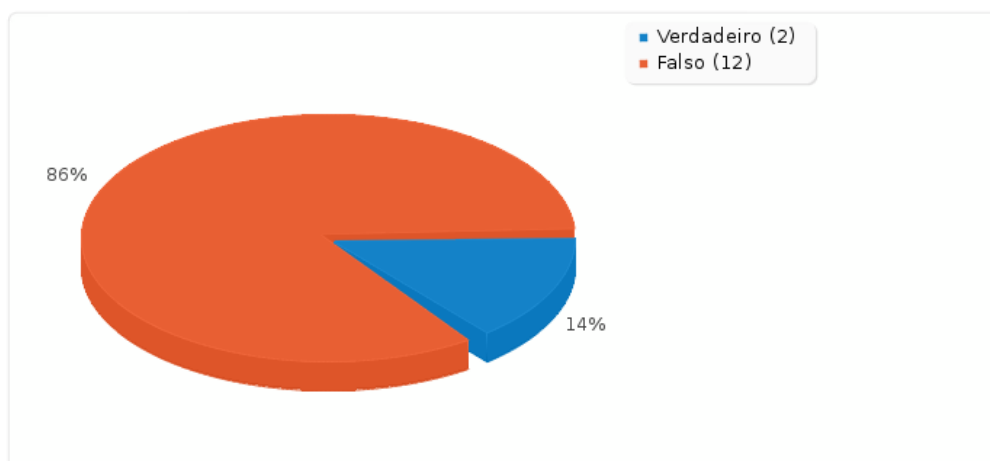


Figura 62 Resultados da segunda pergunta de conhecimentos.

A pergunta “É a força gravitacional entre dois objectos afectada pela distância entre eles?” cuja resposta correcta é “Verdadeiro” foi respondida correctamente por 86% dos utilizadores (Figura 63). A força gravitacional é inversamente proporcional à distância entre o centro de massa de dois objectos demonstrada pela Lei de Newton de gravitação universal. Quanto menor for a distância maior será a força gravitacional existente entre os objectos. E o inverso também se aplica, quanto maior for a distância menor será a força gravitacional existente entre os objectos

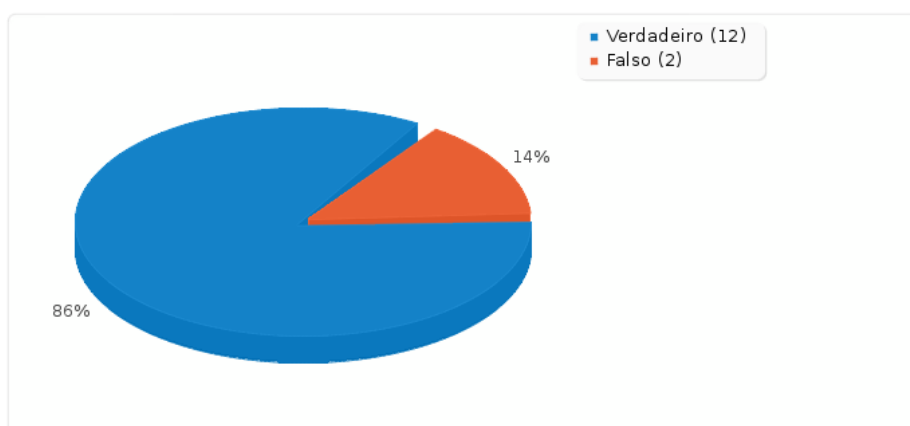


Figura 63 Resultados da terceira pergunta de conhecimentos.

A pergunta “Quantas forças aerodinâmicas podem ter o seu valor de força alterado, enquanto o avião se move?” cuja resposta correcta é “3” foi respondida correctamente por 43% dos utilizadores (ver Figura 64). O peso é a única força aerodinâmica cujo valor não se altera, sendo constante, as restantes forças (sustentação, empuxo e arrasto) tendem a alterar o seu valor de força devido a vários factores como ângulo de ataque, densidade do ar, área das asas, envergadura das asas, factor de eficiência aerodinâmico e velocidade.

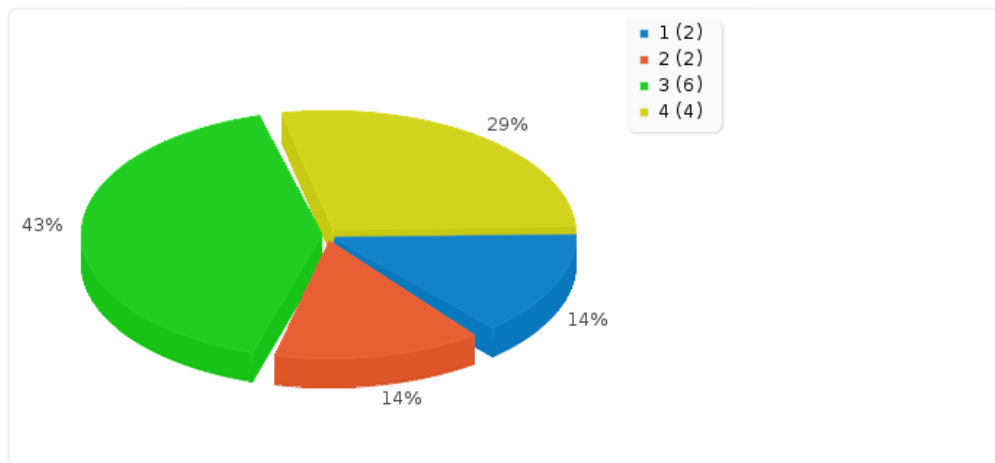


Figura 64 Resultados da quarta pergunta de conhecimentos.

A pergunta “Quando um avião tem pouca velocidade, as forças aplicadas resultantes pode ser definido como sendo de que tipo?” cuja resposta correcta é “Vertical” foi respondida correctamente por 64% dos utilizadores (ver Figura 65). Quando um avião possui pouca velocidade a força mais elevada aplicada na aeronave é o peso, o peso corresponde a uma força vertical.

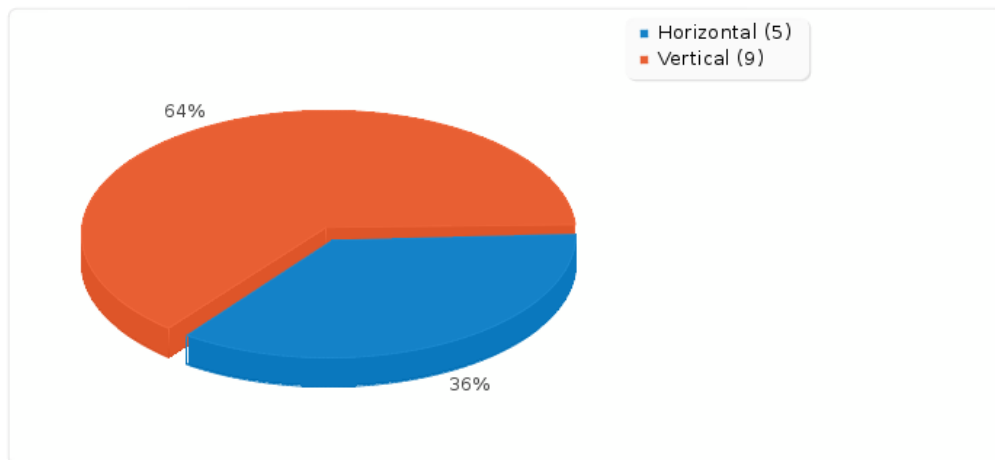


Figura 65 Resultados da quinta pergunta de conhecimentos.

3.4.1.2 Secção de avaliação de usabilidade

Esta secção pretende obter as opiniões dos utilizadores relativas ao uso do deste simulador e da sua validade como meio de aprendizagem no ensino. A pergunta “Qual foi o nível de forças aplicadas pelo Falcon?” pretende perceber as forças aplicadas são adequadas, tendo 36% dos utilizadores considerado que as forças aplicadas como sendo normal e forte (ver Figura 66). As respostas corresponderam a uma avaliação geral do simulador, porém podem variar mediante o módulo do simulador.

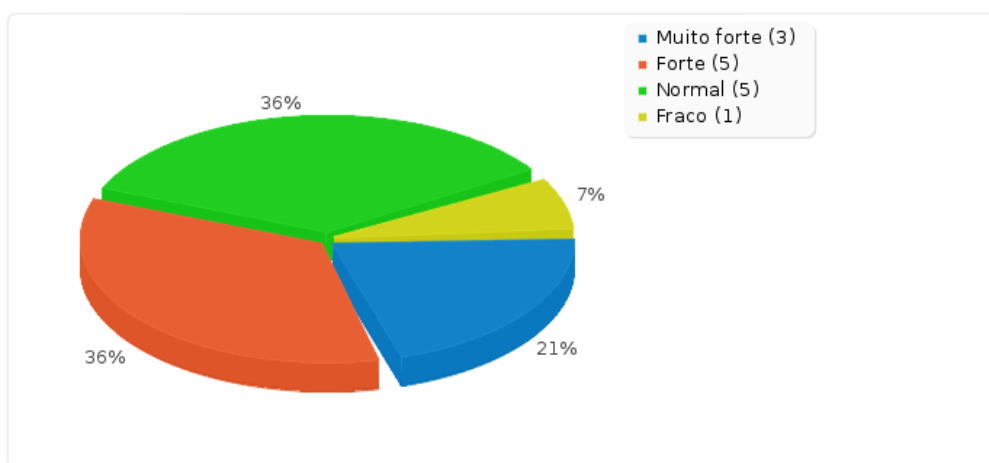


Figura 66 Resultados da primeira pergunta de usabilidade.

A pergunta “Você foi capaz de aprender / entender conceitos de física utilizando o simulador?” tem como propósito perceber se os utilizadores conseguiram efectivamente aprender através da utilização do simulador, tendo 71% utilizadores (ver Figura 67) considerado que conseguiram aprender sobre forças da física utilizando o simulador como meio de aprendizagem.

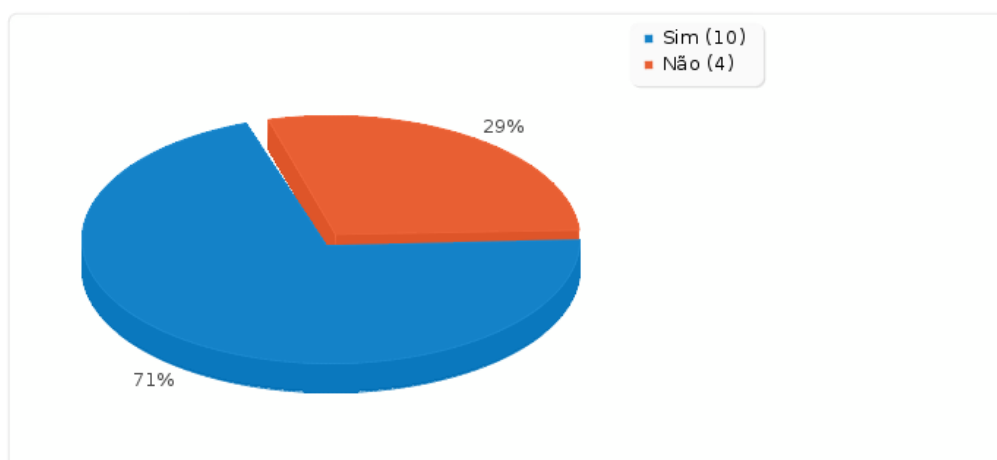


Figura 67 Resultados da segunda pergunta de usabilidade.

A pergunta “Você acredita que os simuladores devem ser usados em sala de aula?” tem como propósito avaliar a percepção dos utilizadores relativamente à utilização do simulador como meio funcional de aprendizagem, tendo 86% dos utilizadores considerado benéfica a introdução destes meios de ensino na sala de aula (ver Figura 68).

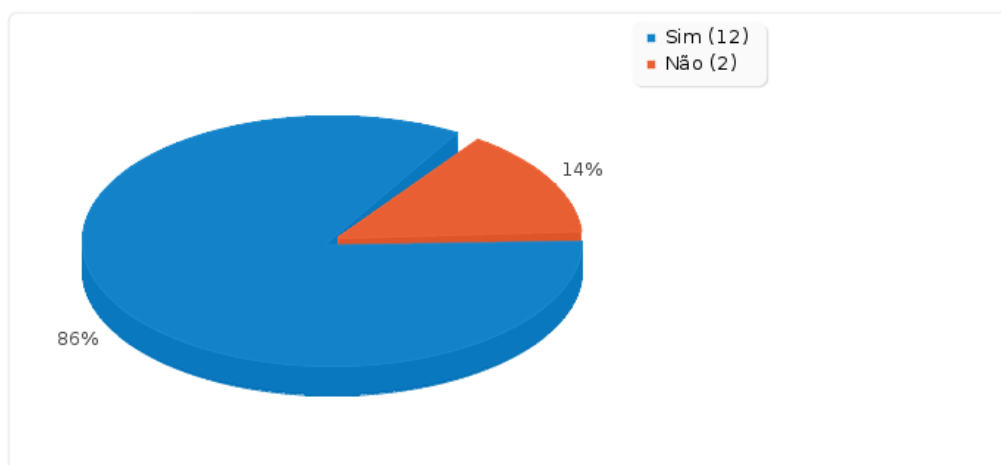


Figura 68 Resultados da terceira pergunta de usabilidade.

A pergunta “Qual é a sua opinião sobre o simulador Forces of Physics?” pretende perceber como os utilizadores avaliaram de forma geral as suas experiências com o simulador, bem como as respectivas funcionalidades do mesmo. Os utilizadores avaliaram positivamente o simulador, tendo 43% dos utilizadores avaliado o simulador como sendo muito bom (ver Figura 69).

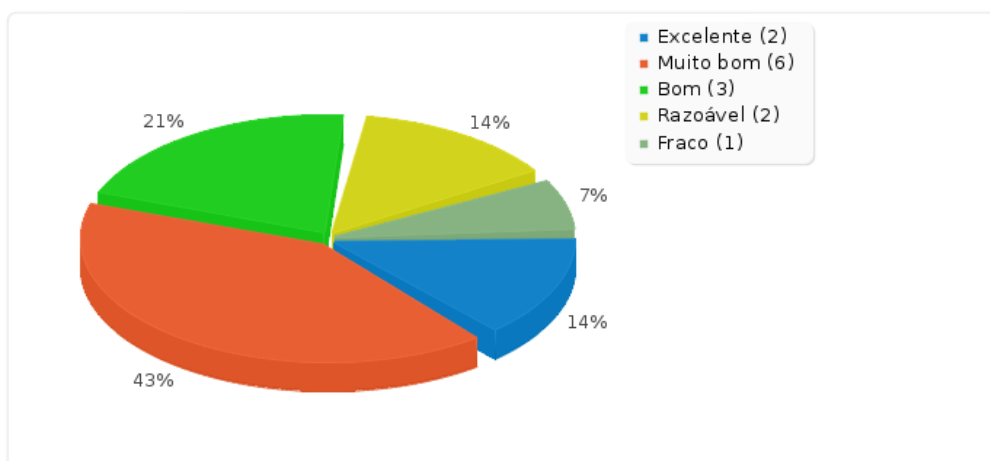


Figura 69 Resultados da quarta pergunta de usabilidade.

A última pergunta pede aos utilizadores para indicarem sugestões com o objectivo de efectuar alterações, rectificações ou melhorias relativas ao simulador.

3.4.2 Avaliação da apresentação do simulador em conferências

No dia 19 de Setembro de 2013 foi realizada uma demonstração de uso do simulador na Exp.at'2013 (The 2nd Experiment@ International Conference) numa das sessões de exibição da conferência (ver o artigo em **Anexo 1**). A recepção geral do simulador foi boa, durante sessão de apresentação a afluência de participantes levou a uma extensão do período de tempo para apresentação do simulador, os participantes testaram o simulador e fizeram várias perguntas relacionadas com as tecnologias utilizadas, sobre as vantagens e desvantagens da utilização de interfaces hápticos, bem como sobre os custos associados à aquisição deste tipo de equipamento. Vários utilizadores indicaram que as forças aplicadas estavam um bocado altas em alguns módulos, alguns perguntaram se iriam ser criados módulos adicionais, tendo alguns expressado a opinião de que ainda levaria um longo período de tempo para validar o uso do simulador como uma ferramenta de aprendizagem na sala de aula.

No dia 3 e 4 de Outubro de 2013 o simulador foi apresentado como poster na conferência ECGBL (ver o artigo em **Anexo 2** e a imagem do poster apresentado no **Anexo 3**). Durante a apresentação do projecto na ECGBL foi sugerido que devido aos custos de aquisição de um dispositivo hápticos devemos disponibilizar mais dados que justifiquem a sua compra por parte de escolas, e que para esse efeito se devia desenvolver o simulador de forma a ser possível utilizar o simulador sem o dispositivo háptico, utilizando unicamente um rato de forma a estabelecer a comparação da aprendizagem entre os dois tipos de utilização do simulador.

4 Conclusão

Esta tese aborda o uso de tecnologias hápticas e simulação de computador com intuito de ensinar conceitos de física com recurso a um simulador com capacidades hápticas e avaliação dos resultados.

No decorrer desta tese foi desenvolvido um simulador háptico chamado Forces of Physics com a intenção de ajudar os utilizadores na sua aprendizagem de conceitos relacionados com vários tipos de forças da física. A aplicação não pretende substituir os livros no sistema de ensino, mas em vez disso pretende complementá-lo, proporcionando aos alunos experiências práticas. O aplicativo usa hápticos como um novo meio tecnológico com fins educacionais, com o intuito de desenvolver e validar seu uso na educação.

A avaliação através de questionário foi realizada por 14 pessoas, tendo sido testados os conhecimentos adquiridos pelos alunos com o uso do simulador háptico e opiniões de usabilidade. Em alguns casos os utilizadores expressaram também as suas opiniões informalmente. O trabalho obteve bom feedback dos utilizadores em termos de opiniões e sugestões.

O simulador pode ser melhorado no futuro em termos de aspecto gráfico, interface e na interactividade das simulações disponíveis ou na inclusão de simulações de forças adicionais conforme sugerido por alguns utilizadores. Actualmente o simulador utiliza a HDAI da Novint para interligação com o dispositivo háptico, limitando a utilização do simulador a um único dispositivo háptico (Novint Falcon) de futuro o simulador poderá ser alterado de forma a possibilitar a utilização do simulador com múltiplos dispositivos hápticos.

O trabalho desenvolvido no âmbito desta tese está inserido num projecto internacional designado por Alfa Gaviota (*Grupos Académicos para la Visualización Orientada por Tecnologías Apropriadas*) financiado pela Comissão Europeia, em que Portugal participa através do centro de investigação GILT (*Graphics, Interaction and Learning Technologies*) do ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto).

Referências

As referências foram geradas utilizando uma versão modificada do ficheiro xsl criado por Yves Dhondt relativo ao estilo de referências de Harvard do tipo “Anglia”. A versão modificada foi criada de propósito para esta tese de forma a gerar automaticamente as referências com os requisitos pretendidos, tendo sido adicionada manualmente na pasta “C:\Program Files\Microsoft Office\Office14\Bibliography\Style”.

- [Acm, 2013] Acm, <http://cie.acm.org/media/04-frustum.jpg>. [último acesso: 1 Set 2013]
- [Affemitwaffe, 2008] Affemitwaffe, Wikimedia, <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f3/E60hud.JPG/800px-E60hud.JPG>. [último acesso: 19 Ago 2013]
- [Ataja, 2011] Ataja A., Wikimedia, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/Mixed_Reality_Scale.png. [último acesso: 20 Ago 2013]
- [Axis3d, 2013] Axis3d, http://www.axis3d.com.tw/product/phantom_omni_02.jpg. [último acesso: 6 Feb 2013]
- [Biocca and Levy, 1995] Biocca F. and Levy M. R., 1995. In *Communication in the age of virtual reality*. Routledge, 57-58.
- [Blogcdn, 2011] Blogcdn, <http://www.blogcdn.com/www.engadget.com/media/2011/06/haptic-belt-06-29-2011.jpg>. [último acesso: 22 Jan 2013]
- [Blogspot, 2013] Blogspot, http://2.bp.blogspot.com/-Rhm22ib2qP8/UBo1i4O1HPI/AAAAAAAAEWI/55_n5Jqhkyg/s1600/Oculus+Rift+Linux+Virtual+Reality+Headset.jpg. [último acesso: 7 Feb 2013]
- [Butterflyhaptics, 2013] Butterflyhaptics, <http://butterflyhaptics.com/images/completeddevice Rearview.png>. [último acesso: 22 Jan 2013]
- [Concepthunter, 2013] Concephunter, <http://concepthunter.com/touch/images/masayo.jpg>. [último acesso: 21 Jan 2013]
- [Cooper, 2010] Cooper, <http://www.cooper.com/wp-content/uploads/journal/2010/imon/nasa-flight-simulator.jpg>. [último acesso: 20 Feb 2012]
- [DigitalTrends, 2013] DigitalTrends, <http://icdn4.digitaltrends.com/image/zeron-2-625x351-c.png>. [último acesso: 7 Feb 2013]
- [Dlouhý, 2003] Dlouhý Petr, Wikimedia, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6d/Angle_of_attack.svg/300px-Angle_of_attack.svg.png. [último acesso: 19 Ago 2013]

- [5px-Angle_of_attack.svg.png](#). [último acesso: 14 Jul 2013]
- [Dvice, 2012] Dvice, http://dvice.com/assets_c/2011/04/lcsjckt9702332we-thumb-550xauto-60897.jpg. [último acesso: 23 Nov 2012]
- [Edn-europe, 2013] Edn-europe, <http://www.edn-europe.com/cmsimages/0612/38fa.jpg>. [último acesso: 10 Feb 2013]
- [ELI, 2007] ELI ,7 Things You Should Know about. Haptics, <http://net.educause.edu/ir/library/pdf/eli7029.pdf>. [último acesso: 6 Abr 2013]
- [ELI, 2007] ELI ,7 Things You Should Know about. Haptics, <http://net.educause.edu/ir/library/pdf/eli7029.pdf>. [último acesso: 6 Abr 2013]
- [Extremetech, 2012] Extremetech, <http://www.extremetech.com/wp-content/uploads/2012/08/VirtuSphere.jpg>. [último acesso: 7 Feb 2013]
- [Farhadi-Niaki et al., 2013] Farhadi-Niaki F., Gerroir J., Arya A., Etemad S. A., Laganière R., Payeur P. and Biddle R., Usability Study of Static/Dynamic Gestures and Haptic Input as Interfaces to 3D Games. In *ACHI 2013, The Sixth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, p. 315-323, 2013.
- [Farhadi-Niaki, 2013] Farhadi-Niaki F., Gerroir, J., Arya, A., Etemad, S. A., Laganière, R., Payeur, P., and Biddle, R. , Usability Study of Static/Dynamic Gestures and Haptic Input as Interfaces to 3D Games. In *ACHI 2013, The Sixth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, p. 315-323, 2013.
- [Ggpht, 2013] Ggpht, https://lh3.ggpht.com/r-CEYkuAKx-Pd2qP4Nxqqf4vBs77tug6ki-R2JYhcBIV5d4mKVgRhg6i_gr4He-NZNAV=h900-rw. [último acesso: 15 Set 2013]
- [Gillespie and Okamura, 2008] Gillespie R. B. and Okamura A. M., Haptic Interaction for Hands-On Learning in System Dynamics and Controls. *Control Systems Magazine*. , 2008.
- [Gillespie and Okamura, 2008] Gillespie R. B. and Okamura A. M., Haptic Interaction for Hands-On Learning in System Dynamics and Controls. *Control Systems Magazine*. , 2008.
- [Gotow et al., 2010] Gotow J. B. , Zienkiewicz K., White J. and Schmidt D. C., Addressing Challenges with Augmented Reality Applications on Smartphones. In *Mobile Wireless Middleware, Operating Systems, and Applications*, Springer Berlin Heidelberg, p. 129-143, 2010.
- [Grigio, 2008] Grigio Uomo, Wikimedia, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Wing_angles.jpg. [último acesso: 2 Set 2013]
- [Gstatic, 2013] Gstatic, <http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS1jX4O2fSsLFP9OGheQ6PpxdUyHi5CEWqcqLOIVpt-WPNMN58T>. [último acesso: 26 Abr 2013]

- [Han and Black, 2011] Han I. and Black J. B., Incorporating haptic feedback in simulation for learning physics. *Computers & Education*, 57(4) , p. 2281-2290, 2011.
- [Han and Black, 2011] Han I. and Black J. B., Incorporating haptic feedback in simulation for learning physics. *Computers & Education*, 57(4) , p. 2281-2290., 2011.
- [HRED ARL, 2007] HRED ARL ,Wikimedia, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/ARL_ODT.jpg. [último acesso: 13 Out 2012]
- [Imath-asia, 2013] Imath-asia, <http://www.imath-asia.com/assets/wp-content/uploads/2012/03/5DOF-telepresence.jpg>. [último acesso: 6 Feb 2013]
- [Itreviews, 2012] Itreviews, <http://www.itreviews.com/wp-content/uploads/2012/10/h378.jpg>. [último acesso: 28 Ago 2013]
- [Kynigos, 2012] Kynigos C., Constructionism: theory of learning or theory of design? In *12th ICME-International Congress on Mathematical Education*, 2012.
- [Leuschke et al., 2005] Leuschke R., Kurihara E. K., Doshier J. and Hannaford B., High fidelity multi finger haptic display. In *Proceedings of the First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. World Haptics 2*, IEEE, p. 606-608, 2005.
- [Masayo, 2011] Masayo Ave. <http://researchfacility.wordpress.com/workshops/haptic-design-interface-with-masayo-ave/>. [último acesso: 17 Nov 2012].
- [Massnewsmedia, 2013] Massnewsmedia, <http://massnewsmedia.com/wp-content/uploads/2012/04/Google-unveils-Project-Glass-460x250.jpg>. [último acesso: 7 Feb 2013]
- [Microbemagic, 2013] Microbemagic, http://microbemagic.ucc.ie/images/5_senses1.jpg. [último acesso: 2013 Set 21]
- [Milgram et al., 1995] Milgram P., Takemura H., Utsumi A. and Kishino F., Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In *Photonics for Industrial Applications*, International Society for Optics and Photonics, p. 282-292, 1995.
- [Nasa, 2013] Nasa, http://www.aeronautics.nasa.gov/pdf/wing_design_k-12.pdf. [último acesso: 2 Set 2013]
- [Ncesubsea, 2012] Ncesubsea, http://www.ncesubsea.no/download/120119_visualization_for_industrial_applications_vizualistation_as_an_essential_tool_jens_grimsgaard_statoil.pdf. [último acesso: 6 Abr 2013]
- [New-edge, 2013] New-edge, http://www.new-edge.tv/images/Preferred%20learning%20styles_s.jpg. [último acesso: 10 Out 2013]

- [Nilsson, 2008] Nilsson Dennis, Wikimedia, <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:NewtonsLawOfUniversalGravitation.svg>. [último acesso: 12 Set 2013]
- [Okamura et al., 2002] Okamura A. M. , Richard C. and Cutkosky M., Feeling is believing: Using a force-feedback joystick to teach dynamic systems. *Journal of Engineering Education*, 91(3) , p. 345-349, 2002.
- [Park et al., 2001] Park S.T, Lee H., Yuk K.C., Kim J.H and Lee H., Virtual Reality Simulations in Physics Education. In *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*, AACE - Association for the Advancement of Computing in Education, p. 964-965, 2001.
- [Pcgameshardware, 2009] Pcgameshardware, <http://www.pcgameshardware.com/screenshots/original/2009/01/Flight-Sim-2000.png>. [último acesso: 7 Feb 2013]
- [Pennwellnet, 2013] Pennwellnet, <http://images.pennwellnet.com/ogi/images/off3/0499oslgc1.jpg>. [último acesso: 7 Feb 2013]
- [Physorg, 2009] Physorg, <http://cdn.physorg.com/newman/gfx/news/2009/touchablehol.jpg>. [último acesso: 22 Jan 2013]
- [Richmond, 2012] Richmond Michael, http://spiff.rit.edu/classes/phys317/lectures/multiple_funcs/temp_profile.html.
- [Sciencelearn, 2013] Sciencelearn, http://www.sciencelearn.org.nz/var/sciencelearn/storage/images/media/images/flt_sci_art_04_wing_20aspect_ratio_lowtohighratios-nc2/529619-1-eng-NZ/FLT_SCI_ART_04_Wing_aspect_ratio_LowToHighRatios-NC.jpg. [último acesso: 5 Mai 2013]
- [Singularityhub, 2010] Singularityhub, <http://singularityhub.com/wp-content/uploads/2010/03/haptic-vest-lets-you-feel-bullets-knives-from-game-close.jpg>. [último acesso: 10 Out 2012]
- [Skyscanner] Skyscanner, http://www.skyscanner.net/sites/default/files/image_import/wikitude.jpg. [último acesso: 19 Ago 2013]
- [Smith, 2000] Smith R. D., Ralston, A., Reilly, E. D. and Hemmendinge, D. ,Simulation, <http://www.modelbenders.com/encyclopedia/encyclopedia.html>. [último acesso: 13 Abr 2013]
- [Smith et al., 2000] Smith R. D. , Ralston A., Reilly E. D. and Hemmendinge D. <http://www.modelbenders.com/encyclopedia/encyclopedia.html>. [último acesso: 13 Abr 2013].
- [Srinivasan, 1995] Srinivasan M. A. , What is haptics? *Laboratory for Human and Machine Haptics: The*

Touch Lab, Massachusetts Institute of Technology , 1995.

- [Staztic, 2013] Staztic, <http://cdn7.staztic.com/app/a/337/337506/haptic-effect-preview-101-0-s-307x512.jpg>. [último acesso: 15 Set 2013]
- [Suzuki and Yano, 2013] Suzuki H. and Yano H. , Iwata, H., 1 DOF Tabletop Haptic Mouse for Shape Recognition of 3D Virtual Objects. In *ACHI 2013, The Sixth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, p. 309-314, 2013.
- [Suzuki et al., 2013] Suzuki H., Yano H. and Iwata H., 1 DOF Tabletop Haptic Mouse for Shape Recognition of 3D Virtual Objects. In *ACHI 2013, The Sixth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, p. 309-314, 2013.
- [Turbulence, 2011] Turbulence, http://turbulence.org/blog/images/2011/04/virtuality_continuum_2.jpg. [último acesso: 18 Ago 2013]
- [Uni-muenster, 2013] Uni-muenster, http://viscg.uni-muenster.de/publications/2009/SBRH09/Fig1_input.jpg. [último acesso: 10 Out 2013]
- [Uni-muenster, 2013b] Uni-muenster, http://viscg.uni-muenster.de/publications/2009/SBRH09/rathaus_final.png. [último acesso: 10 Out 2013]
- [Uni-paderborn, 2013] Uni-paderborn, <http://www2.cs.uni-paderborn.de/cs/ag-domik-static/seminare/ss97/visualisierung/brendel/cybergrasp.jpg>. [último acesso: 6 Feb 2013]
- [Virtualworldlets, 2012] Virtualworldlets, <http://www.virtualworldlets.net/Worlds/Listings/VRInterfaces/NovintFalcon.jpg>. [último acesso: 26 Set 2012]
- [Vivitouch, 2013a] Vivitouch , http://www.vivitouch.com/images/device_moving_touch_sensor.jpg. [último acesso: 5 Feb 2013]
- [Vivitouch, 2013b] Vivitouch , http://www.vivitouch.com/images/device_shaker.jpg. [último acesso: 6 Feb 2013]
- [Watanabe, 2012] Watanabe K., Shimamoto, K. and Ohnishi, K. , Bilateral control with 2-DOF haptic spherical interface. In *IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, p. 4394-4399, 2012.
- [Watanabe et al., 2012] Watanabe K., Shimamoto K. and Ohnishi K., Bilateral control with 2-DOF haptic spherical interface. In *IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, p. 4394-4399, 2012.
- [Wikipaintings, 2007] Wikipaintings, [http://uploads5.wikipaintings.org/images/vincent-van-gogh/hand-with-a-pot-the-knob-of-a-chair-and-a-hunk-of-bread-1885\(1\).jpg!Blog.jpg](http://uploads5.wikipaintings.org/images/vincent-van-gogh/hand-with-a-pot-the-knob-of-a-chair-and-a-hunk-of-bread-1885(1).jpg!Blog.jpg). [último acesso: 20

Jan 2013]

[Williams II, 2002]

Williams II R. L., Chen, M. Y., and Seaton, J. M. , Haptics-augmented high school physics tutorials. *International Journal of Virtual Reality*, 5(1) , 2002.

[Williams II et al., 2002]

Williams II R. L. , Chen M. Y. and Seaton J. M., Haptics-augmented high school physics tutorials. *International Journal of Virtual Reality* , 5(1) , 2002.

[Worldviz, 2012]

Worldviz, http://static.worldviz.com/wp/wp-content/uploads/2012/09/CAVE_christie_2.jpg. [último acesso: 13 Ago 2013]

Anexo 1 - Artigo Exp.at'13

Learning Physics with Virtual Simulations

Luciano Santos

GILT – Graphics Interaction and Learning Technologies
ISEP
Porto, Portugal
1050508@isep.ipp.pt

Carlos Vaz de Carvalho

GILT – Graphics Interaction and Learning Technologies
ISEP
Porto, Portugal
cmc@isep.ipp.pt

Abstract— Students worldwide find very difficult to learn sciences. Therefore there is a need to find innovative ways to motivate students and help them learn. One possible way is the inclusion of technology in the classroom because it is a familiar environment for these students, the digital natives. This article addresses the specific use of simulators as a means to improve the learning of Physics. The aim of this work is to design, develop and test a virtual reality simulator that allows experiencing / feeling various forces of physics such as the friction force, the aerodynamic force and the gravitational force. To give more realism to the man-machine interaction the simulator uses a haptic interface.

Keywords—*Haptics, Simulation, Physics, Forces, Learning.*

I. INTRODUCTION

A simulation can be defined as the process of designing a model of a real or imaginary system and conducting experiments with that model [1]. Most aspects of real life can be simulated and simulations are used in almost any area of knowledge, such as education, medicine, etc. A major concern related to simulation is the fact that it is not equal to the real world but just an approximation. The use of simulation benefits education by enabling a task to be executed without the drawbacks that it would had in the real world, enabling the user to perform the task countless times without the fear of error. As human-machine interaction evolves, the need to involve all the natural human senses (hearing, sight, smell, taste and touch) increases. Current human-machine interaction includes sight and hearing. Haptics represents the addition of touch to this interaction. The term “Haptics” comes from the Greek word *haptikós* (“ἅπτω”) which refers to the sense of touch and to the technology, devices, and interfaces that provide tactile feedback [2]. The generalization of haptic technology followed technical developments that led to a price drop of these devices. Initially haptic systems were mainly mechanical, but nowadays they use technologies such as ultra-sounds and magnetism to create the sense of touch allowing users to manipulate virtual elements in a less constrained way with higher degrees of freedom (DOF).

A haptic device can have as many as six DOF. Three of those DOF are related to translation: heaving (movement forward/back or back/forward), surging (displacement movement both up and down or the inverse) and swaying (displacement movement either left to right or right to left). The remaining three are related to rotation: pitching (tilting either forward or backward), yawing (swivelling either left or right) and rolling (pivoting side to side). A device with a single DOF can be for example a haptic paddle [3]. A device with two DOF can be for example a fingertip haptic display (FHD) [4], but most haptic devices nowadays have between three to six DOF.

A. Haptics Simulation

Haptics are valued in simulations because they provide automatic feedback to the user, enabling a more realistic response time to a situation, as well as an assimilation of the contents and environment of the simulation. This type of simulation can be used either as an education tool or for recreational purposes such as games. Several fields of study require students to perform physical tasks; such tasks can be performed in the virtual environment with Haptics technology, allowing the user to learn the same skills that would otherwise require superior amount of resources and equipment [5]. The use of Haptics provides great possibilities in terms of physics learning, by adding another sense to the way we relate to technology, some aspects of learning can now be perceived in a more immediate way in which the user actual feels the forces. This type of simulators allow certain concepts to be better understood in a more interactive way through the affinity between virtual reality and physical reality, allowing for a better understanding of physics expressed in simulators. Haptics physics simulations have a multitude of possible uses for education purposes, allowing for concept teaching and specific training, such is the case of physics, where the perception of physical forces can be immediate.

II. FORCES OF PHYSICS SIMULATOR

The simulator presented in this article is divided in several modules. The class `Manager_Haptics` (as seen in Fig. 1) is responsible for direct access to the haptic device.

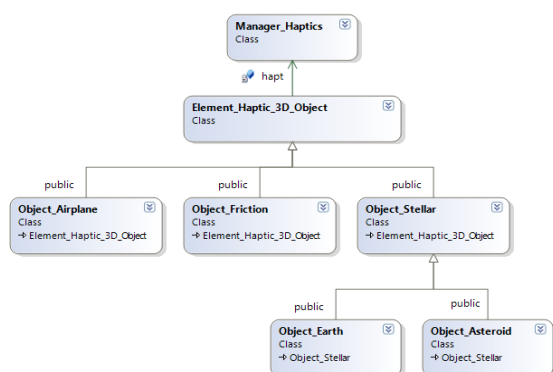


Fig. 1. Class diagram related to haptics.

The aerodynamics module allows the user to sense the aerodynamics forces applied to an airplane. The module has an airplane 3D model (Lockheed SR-71b “Blackbird”) in which the user senses the thrust, drag, lift and weight as he moves the airplane inside the skybox that represents the atmosphere, as well as physics particles that simulate the wings airflow and the aircraft afterburners. The friction module (as seen in Fig. 2) enables the user to drag a cube over the floor, and depending on the objects material feel the corresponding friction force. The user is able to alter the material of both the cube and the floor which changes the static and coefficients of friction.



Fig. 2. Demonstration of simulator usage with falcon.

The gravitation module was developed as a game whose concept is to use the planet earth to divert asteroids to the sun where they will be destroyed. The user is able to use a 3D model representing the earth to divert 3D models representing asteroids into the sun; the game background shows a stellar sky. Gravitational forces are applied to the earth and to the asteroid, depending on the proximity

between the earth and the asteroid, the asteroid’s trajectory will change, and the user will feel the corresponding force.

The simulator uses DirectX 9, C++, the Novint Haptic Device Abstraction Layer (HDAL) and the Novint Falcon as hardware. HDAL is a Novint low level API written in C++ that enables the communication between the Falcon and the computer. This API has access to more functions and resources and so should be used by programmers with knowledge in C++, the basic accessible information of the Falcon is related for example with position and current button states, and also enables the programmer to update the force applied unto the device. The simulator uses 3D elements (mainly 3D models in X legacy file format) and 2D elements (images with and without transparency in DirectDraw Surface (DDS) file format).

III. CONCLUSION

This article covers concepts related to haptic technology focusing the use of these technologies on application development through usage of Haptics devices/interfaces and computer simulation technology for the purpose of physics education. A simulation platform called Forces of Physics was implemented with the intent to assist users on their learning of concepts related to several types of forces of physics, the application doesn’t intend to replace books and notebooks used in education system, but instead it’s meant to complement it.

ACKNOWLEDGMENT

This article is based on work undertaken within an international project called Alfa Gaviota (Grupos Académicos para la Visualización Orientada por Tecnologías Apropriadadas) funded by the European Commission, in which Portugal participates through the research centre GILT (Graphics, Interaction and Learning Technologies) from ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto).

REFERENCES

- R. D., Ralston, A., Reilly, E. D. and Hemmendinge, D. Smith. (2000) Simulation. [Online]
- M. A. Srinivasan, "What is haptics?," *Laboratory for Human and Machine Haptics: The Touch Lab, Massachusetts Institute of Technology*, 1995.
- A. M., Richard, C., and Cutkosky, M. Okamura, "Feeling is believing: Using a force-feedback joystick to teach dynamic systems," *Journal of Engineering Education*, 91(3), pp. 345-349, 2002.
- R. Leuschke, E. K. Kurihara, and J., & Hannaford, B. Doshier, "High fidelity multi finger haptic display," in *Proceedings of the First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. World Haptics 2*, 2005, pp. 606-608.
- F., Gerroir, J., Arya, A., Etemad, S. A., Laganière, R., Payeur, P., and Biddle, R. Farhadi-Niaki, "Usability Study of Static/Dynamic Gestures and Haptic Input as Interfaces to 3D Games," in *ACHI 2013, The Sixth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, 2013, pp. 315-323.

Anexo 2 - Artigo ECGBL

Haptic Physics Simulation

Luciano Santos, Carlos Vaz de Carvalho
Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal
1050508@isep.ipp.pt
cmc@isep.ipp.pt

Abstract: Advances in informatics enabled the inclusion of more senses in the interaction between user and machine. One of those senses is touch, made possible through the use of haptic devices/interfaces. Simulators with a haptic command/interface (such as the Novint Falcon, used in the scope of this study) provide realistic feedback in terms of both graphics visualization and force feedback, enabling the user to feel and instinctively understand several aspects of the simulation. The usage of this technology in specific contexts such as physics learning can be quite meaningful because user actions will result in force reactions. This practical approach is contrary to conventional physics teaching where concepts are taught using mostly theoretical approaches rather than experimental ones.

This study aims to demonstrate that virtual reality simulations with haptic capabilities are viable learning tools for physics education. The simulator presented in this article is divided in several modules, each addressing a specific area of physics. Developed modules so far relate to aerodynamics, friction and gravitation.

The aerodynamics module allows the user to sense the forces applied to an airplane. The module portrays a 3D model of a Lockheed SR-71b “Blackbird” and the user senses the thrust, drag, lift and weight as he moves the airplane inside the skybox representing the atmosphere. The gravitation module was developed as a game whose concept is to use a 3D model representing the Earth to divert asteroids into a collision course with the Sun. Gravitational forces are applied to the earth and to the asteroid, depending on the proximity between them. The asteroid’s trajectory will change and the user will feel the corresponding force. The friction module enables the user to drag a virtual cube over a flat surface and feel the corresponding friction force. The user is able to alter the material of both the cube and the floor which changes the static and dynamic friction coefficients.

The use of these simulations in learning contexts is now being assessed. The first collected data is quite promising and it is expected to have a full set of results and conclusions in the next few months.

Keywords: Haptics, Simulation, Physics, Forces, Learning.

1. Introduction

We live in a technological world that is in constant change and education needs to evolve in order to improve learning efficiency. Therefore there is a need to find innovative ways to scaffold students learning. But the way people gather information differs between individuals and depends on several factors. For instance, some people can be defined as “haptic” learners because they tend to learn better by doing hands-on tasks [Gillespie and Okamura, 2008]. One possible way of addressing these needs is the inclusion of information and communication technologies in the classroom. The aim of this work was to design, develop and validate a virtual reality simulator that allows the user to experience/feel several forces of physics such as friction forces, aerodynamic forces and gravitational forces and evaluate its use for education.

As human-machine interaction evolves, the need for inclusion of all the existing natural human senses (hearing, sight, smell, taste and touch) increases. Current human-machine interaction already includes sight and hearing and haptics represents the inclusion of touch to the interaction. The term “haptics” come from the Greek word *haptikós* (“ἅπτω”) which refers to the sense of touch and in modern days refers to technology, devices and interfaces that provide tactile feedback. Haptic technology evolved from the initial mechanical approach to new areas of technology such as ultra-sounds and magnetism.

Haptic technology creates the sense of touch allowing users to manipulate virtual elements in a less constrained way with higher degrees of freedom (DOF). The use of haptics provides greater realism to the man-machine interaction by adding another sense. So although anyone could learn by using haptic devices those who tend to be haptic learners tend to benefit more from this way of learning.

A haptic device can have as many as six DOF referring to the movement of a 3D object in space and to the six types of movement that can be applied to it. Three of those types are related to translation: heaving (movement forward/back or back/forward), surging (displacement movement both up and down or the inverse) and swaying (displacement movement either left to right or right to left). The remaining three are related to rotation: pitching (movement of tilting either forward or backward), yawing (movement of swivelling either left or right) and rolling (movement of pivoting side to side). A device with a single DOF can be for example the table top haptic mouse by [Suzuki and Yano, 2013]. A device with two DOF can be for example the spherical interface proposed by [Watanabe, 2012]. Most haptic devices nowadays have between three to six DOF.

The main reason why haptic technology isn't still part of everyday life is the price of hardware. Certain areas like Medicine or the Oil drilling industry already use Haptics but the equipment can cost thousands of euros (see Table 1). Only in recent years with the development of more affordable haptic devices such as the Novint Falcon the cost was reduced to a few hundred euros. With more devices becoming affordable the consumer starts to have access to this kind of devices for personal use and it is expected that the cost of this type of hardware will continue to decrease.

Table 1: Samples of Haptics devices prices

Haptics devices prices		
Haptic Device	DOF	Cost (\$USD)
SensAble PHANTOM Omni Premium 1.0	6	\$ 20,450
SensAble PHANTOM Desktop	6	\$ 13,000
Novint Falcon Pistol Grip Bundle - White	3	\$279.95
Novint Falcon standard bundle	3	\$249.95

The Novint Falcon is a haptic device that has three degrees of freedom (3 DOF) and two types of handles: one is a grip similar to a ball that contains four buttons (Figure 1) and the other resembles a gun mainly used in action games like first person shooters (FPS). The device has a limited working area, but it is very resistant to damage, is capable of generating high forces and costs about 250 \$USD making it the most affordable haptics device on the market. The Falcon has a refresh rate of 1 KHz, making both the physical and virtual reaction very realistic, since virtual movements generated on the simulator will be transmitted to the Falcon motors and transformed in physical movement almost in real-time.



Figure 1: Novint Falcon

The rest of the paper is organized as follows. Section 2, Simulation, explains computer generated simulations, haptic simulations and the use and development of haptic simulations for the purpose of physics learning. Section 3, Forces of Physics Simulator refers to the development of several haptic physics simulations referring to several existing types of forces of physics. Section 4, Conclusions, presents some concluding remarks.

2. Simulations

A simulation can be defined as the process of designing a model of a real or imagined system and conducting experiments with that model [Smith, 2000]. Most aspects of real life can be simulated and simulations are used in almost every area of knowledge, such as education, flight dynamics, medicine, etc. A major concern related to simulation is the fact that it is not equal to the real world but just an approximation. The use of simulation benefits education by enabling a task to be executed without the drawbacks that it would have in the real world, enabling the user to perform the task countless times without the fear of error. Some virtual reality simulations already exist with the intent of teaching physics like the ones from [Han and Black, 2011].

Haptics are valued in simulations because they provide automatic feedback to the user, enabling a more realistic response time to a situation, as well as a better assimilation of the contents and environments of the simulation. This type of simulation can be used either as an education tool or for recreational purposes such as games [Farhadi-Niaki, 2013]. Several fields of study require students to perform physical tasks. Such tasks can be performed in a virtual environment with haptics technology, allowing the user to learn the same skills that would otherwise require superior amount of resources and equipment [ELI, 2007].

Haptic systems provide great possibilities in terms of physics learning, by adding another sense to the way we relate to technology. Some aspects of learning can now be perceived in a more immediate way when the user actually feels the forces that are in play. This allows certain concepts to be better understood in a more interactive way through the affinity between virtual reality and physical reality, allowing for a better understanding of physics. Haptics physics simulations have a multitude of possible uses for education purposes, allowing for concept teaching and specific training. A few works in this field already exist, for example, [Williams II, 2002] intended to teach high school physics.

3. Forces of Physics Simulator

The Forces of Physics simulator is divided in several modules, each addressing a specific area of physics. Developed modules so far relate to aerodynamics, friction and gravitation. The aerodynamics module allows the user to sense the forces applied to an airplane. The module has a 3D model of a Lockheed SR-71b “Blackbird” and the user senses the thrust, drag, lift and weight as he moves the airplane inside the skybox representing the atmosphere. The gravitation module was developed as a game whose concept is to use a 3D model representing the earth to divert 3D models representing asteroids into a collision course with sun where they will be destroyed. Gravitational forces are applied to the earth and to the asteroid, depending on the proximity between them. The asteroid’s trajectory will change and the user will feel the corresponding force. The friction module enables the user to drag a virtual cube over a flat surface and feel the corresponding friction force. The user is able to alter the material of both the cube and the floor which changes the static and dynamic friction coefficients. The simulation is multi-language with its contents translated into Portuguese, Spanish, English and German.

3.3 Aerodynamics Forces / Flight Dynamics Forces

The aerodynamics force can be divided in four components: thrust, drag, lift and weight. This module contains a representation of an airplane and as the user handles the haptic device, the model alters the position of the plane model, enabling the user to feel the aerodynamics force components decomposed according to the XYZ axis.



Figure 2: Aerodynamics module.

3.3 Friction

Friction forces can be divided in four components: pushing force, friction force, normal and weight. In order to simulate friction we used a 3D cube model with a handle that represents the physical world handle of the Novint falcon. The cube can be moved over a limited surface. The user can alter the materials of the cube and of the supporting surface using the arrows seen on the top part of Figure 3. The left part relates to the surface material and the right to the cube material. The alteration will result in changes in both the static and kinetic coefficients and consequently on the resulting friction force. Currently there are six types of surfaces: concrete, glass and rock, rubber, steel and wood. The cube surface is always dry, but the floor can be either dry or wet.

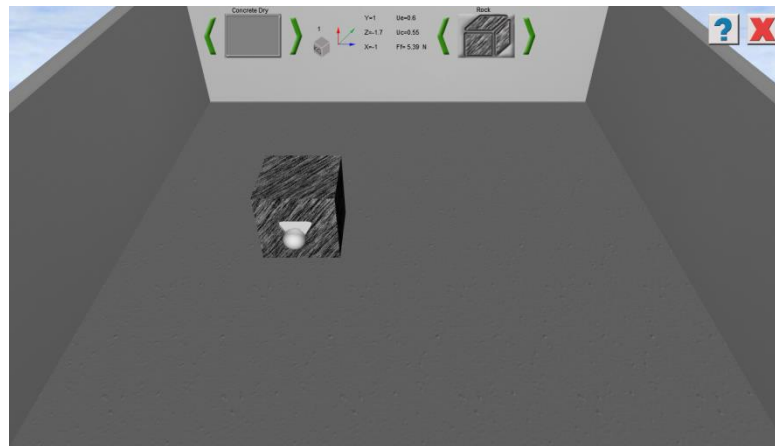


Figure 3: Friction module.

3.3 Gravitation

Gravitation force is applied to both the active asteroid and the planet earth. As the distance between the objects decreases, the force increases, so the user manipulates the planet and, depending on the proximity of the objects, the user will feel the force accordingly. This module was developed as a game so every time an asteroid becomes active, it will start hurling towards the screen, and if the asteroid is attracted to the planet, the asteroid trajectory will be diverted. As the asteroid moves the user will be able to track its trajectory represented with green dots. The game objective is the destruction of the active asteroid that can only be accomplished if the user alters the asteroid trajectory so that it will collide with the sun. Each time the active asteroid is destroyed the amount of destroyed asteroids will increase as shown on the top left of Figure 4 next to the destroyed asteroid symbol, and subsequently a new asteroid will become active.

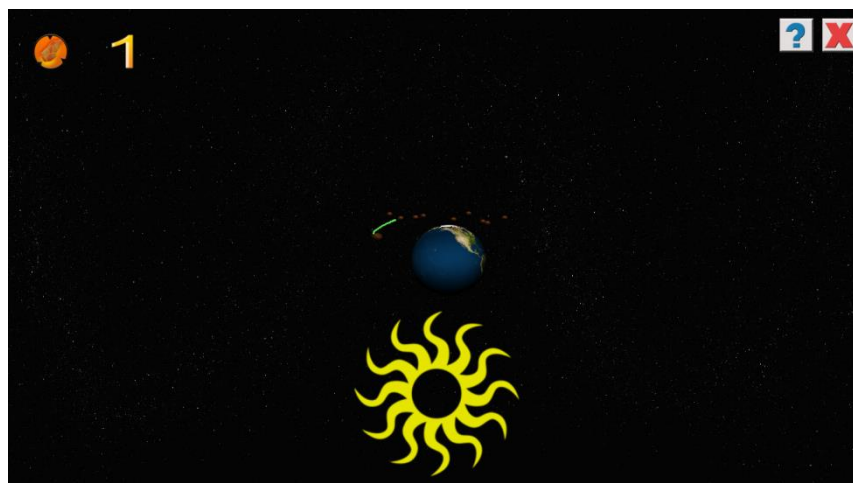


Figure 4: Gravitation module.

4. Conclusion

This article covers the use of haptic technologies and computer simulation for the purpose of physics education and respective evaluation by testing its use in high school classroom and testing the knowledge acquired by students during due to the use of the haptic simulator.

An application called Forces of Physics was implemented with the intent to assist users on their learning of concepts related to several types of forces of physics. The application doesn't intend to replace books and notebooks used in education system, but instead it's meant to complement it, by providing the students with hands-on experiences.

The application uses haptics as a new technological means for educational purposes, with the intent of developing and validating its use in education. The application will now be presented to high school students in order to compare it to the traditional way of teaching and learning.

5. Acknowledgement

This article is based on work undertaken within the Alfa Gaviota (Grupos Académicos para la Visualización Orientada por Tecnologías Apropriadas) project funded by the European Commission - Europaid.

6. References

- ELI. (2007). *7 Things You Should Know about... Haptics*. Retrieved 4 6, 2013, from 7 Things You Should Know, EDUCAUSE Learning Initiative (ELI): <http://net.educause.edu/ir/library/pdf/eli7029.pdf>
- Farhadi-Niaki, F. G. (2013). Usability Study of Static/Dynamic Gestures and Haptic Input as Interfaces to 3D Games. *ACHI 2013, The Sixth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, (pp. 315-323).
- Gillespie, R. B., & Okamura, A. M. (2008). Haptic Interaction for Hands-On Learning in System Dynamics and Controls. *Control Systems Magazine*.
- Han, I., & Black, J. B. (2011). Incorporating haptic feedback in simulation for learning physics. *Computers & Education*, *57*(4), 2281-2290.
- Smith, R. D. (2000). *Simulation*. Retrieved 4 13, 2013, from <http://www.modelbenders.com/encyclopedia/encyclopedia.html>
- Suzuki, H., & Yano, H. ., (2013). 1 DOF Tabletop Haptic Mouse for Shape Recognition of 3D Virtual Objects. *ACHI 2013, The Sixth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, (pp. 309-314).
- Watanabe, K. S. (2012). Bilateral control with 2-DOF haptic spherical interface. *IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, (pp. 4394-4399).
- Williams II, R. L. (2002). Haptics-augmented high school physics tutorials. *International Journal of Virtual Reality*, *5*(1).

Anexo 3 - Poster ECGBL

Haptic Physics Simulation

ECGBL
2013
3-4 October, Porto, Portugal

Luciano Santos¹ Carlos Vaz de Carvalho²
Graphics, Interaction and Learning Technologies, GILT
Instituto Superior de Engenharia do Porto

¹ 1050508@isep.ipp.pt
² cmc@isep.ipp.pt



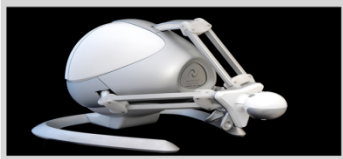
Haptics

As human-machine interaction evolves, the need for inclusion of all the natural human senses (hearing, sight, smell, taste and touch) increases. Current human-machine interaction already includes sight and hearing and Haptics represents the inclusion of touch to the interaction. The term Haptics come from the Greek word haptikós ("ἅπτω") which refers to the sense of touch and in modern days refers to technology, devices, and interfaces that provide tactile feedback.

The use of haptic technology has been evolving, initially was mainly mechanical, but nowadays already includes new areas of technology such as ultra-sounds and magnetism to create the sense of touch allowing users to manipulate virtual elements in a less constrained way with higher degrees of freedom (DOF).

There are six types of movement of an object in 3D space. Three of those DOF are related to translation: heaving (movement forward/back), surging (displacement movement both up and down) and swaying (displacement movement either left to right or right to left). The remaining three are related to rotation: pitching (tilting either forward or backward), yawing (swivelling either left or right) and rolling (pivoting side to side). A haptic device can have as many as six DOF.

The main reason why haptic technology isn't part of everyday life is the price of the hardware. Certain areas like Medicine or the Oil drilling industry already use Haptics but the equipment can still cost thousands of euros. In recent years more affordable haptic devices appeared such as the Novint Falcon, with a cost reduced to a few hundred euros. With more devices becoming available in the market the common consumer starts to have access to this kind of devices for personal use either for recreational use or other ends.



Evaluation

The evaluation consists of quiz can be answered in English, German, Portuguese and Spanish, this quiz contains two sections with five questions each. The first section presented the user with questions related to physics concepts that were learned as a result of using the simulator, the second section of questions were related to usability. The quiz is available at www.gilt.isep.ipp.pt and was answered by 14 users some of which had already some knowledge of physics, the following tables detail the results of the quiz as they were in 13 September 2013. The quiz was used as a means of post testing the simulator in order to validate its usability in the classroom as a means of learning. The simulator was also tested in a conference where the users expressed their informal opinions about the simulator.

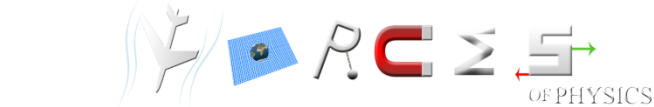
Question	Correct Answer	Percentage of correct answers	Other Answers	Question	Available Answers	Answer with Most Percentage
In the Friction Force higher when the object is moving, and less when the object is stationary	False	50%	True	What are the kind of forces applied by the Moon?	The distance, Strong, OK, weak, Too weak	30% - Strong 30% - OK
When the force is not, the friction coefficients are higher than when the force is 0?	False	80%	True	When you are able to hear / understand physics concepts using the simulator?	Yes, No	71% - Yes
In a gravitational force between two objects attracted by the distance between them?	True	80%	False	Do you believe situations should be created on the classroom?	Yes, No	68% - Yes
How many aerodynamic forces can have both force values changed while the plane moves?	3	43%	1,2,4	What was your overall evaluation of the "Forces of Physics" simulator?	Excellent, Very Good, Good, Fair, Poor	40% - Very Good
When an airplane has low speed, the resulting forces applied on it is reduced a lot of what type?	Vertical	44%	Horizontal	Suggestion?	-	-

Students demonstrate difficulties in science learning, therefore there is the need to find innovative ways to motivate students and help them learn. One possible way is the inclusion of technology in the classroom. This article addresses the use of Haptics in simulators as a means to improve the learning of Physics. The aim of this work is to design, develop and test a virtual reality simulator that allows experiencing / feeling various forces of physics that exist such as the friction force, aerodynamic force and gravitational force. To give more realism to the man-machine interaction the simulator uses a haptic interface. This type of learning is more beneficial for people that can be defined as haptic learners because they tend to learn better by doing hands-on tasks, the constructionism learning theory states that learning is improved when there is physical interaction with real objects in addition to the mental model of the surrounding environment constructed by the learner.

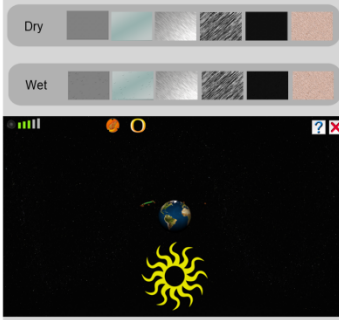
Simulators used together with a haptic command/interface provide the user with realistic feedback in terms of both graphics visualization and force feedback, enabling the user to feel and instinctively understand several aspects of the simulation.

The usage of this technology in specific contexts such as physics learning can be quite meaningful because user actions will result in force reactions, contrary to conventional physics teachings where concepts are taught using mostly theoretical approaches rather than experimental ones.

The simulator presented in this article was custom build from scratch. It was programmed in C++ Unmanaged and makes use of DirectX 9 (set of application programming interfaces (APIs)) as a graphic development tool. For haptic capabilities it uses Novint HDAL (Haptic Device Abstraction Layer) and the Novint Falcon as hardware. Several applications were used to create the graphical content of the simulator. All 2D images were created using Photoshop, Paint, IrfanView, Inkscape and were later converted to DirectDraw Surface (DDS) file format. The 3D content was created using Blender, with the exception of the plane model which was altered in Blender from a initial free 3D model, later all 3D objects were exported to X legacy file format. The simulator contains several modules, each addressing the concepts of a specific type of physics forces, current modules are aerodynamics, friction and gravitation.

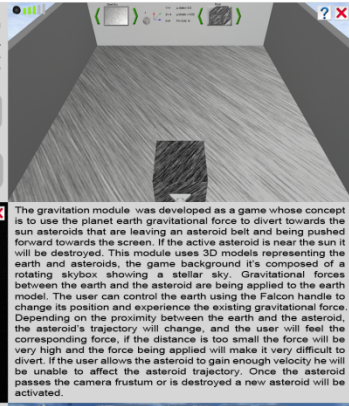


The friction module enables the user to drag a cube over the floor, and depending on the objects material feel the corresponding friction force. The user is able to alter the material (concrete, glass, steel, rock, rubber, wood) of both the cube and the floor which changes the static and coefficients of friction. Some of the materials applied to the ground can be either dry or wet, the cube material is always dry.

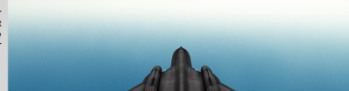


The aerodynamics module allows the user to sense the four aerodynamic forces: thrust, drag, lift and weight. The user can alter the angle of attack and the velocity graphically, and aircraft position using falcon. The module has an airplane 3D model, the Lockheed SR-71b "Blackbird", a skybox that represents the atmosphere, as well as physics particles that simulate the wings airflow and the aircraft afterburners. The user initiates this simulation by clicking on the power button afterwards, he will be able to alter the values of both the angle of attack and the velocity.

When the velocity is zero and the simulation is initiated the user only feels the aircraft weight, as he increases velocity lift, thrust and drag will be generated. If the lift is lower than the weight the aircraft will be either taking off or landing. If lift is either higher or equal the aircraft will be in flight.



The gravitation module was developed as a game whose concept is to use the planet earth gravitational force to divert towards the sun asteroids that are leaving an asteroid belt and being pushed forward towards the screen. If the active asteroid is near the sun it will be destroyed. This module uses 3D models representing the earth and asteroids, the game background it's composed of a rotating skybox showing a stellar sky. Gravitational forces between the earth and the asteroid are being applied to the earth model. The user can control the earth using the Falcon handle to change its position and experience the existing gravitational force. Depending on the proximity between the earth and the asteroid, the asteroid's trajectory will change, and the user will feel the corresponding force, if the distance is too small the force will be very high and the force being applied will make it very difficult to divert. If the user allows the asteroid to gain enough velocity he will be unable to affect the asteroid trajectory. Once the asteroid passes the camera frustum or is destroyed a new asteroid will be activated.



Conclusion

This article covers concepts related to haptic technology focusing the use of these technologies on application development through usage of Haptics devices/interfaces and computer simulation technology for the purpose of physics education. A simulation platform called Forces of Physics was implemented with the intent to assist users on their learning of concepts related to several types of forces of physics, the application doesn't intend to replace books and notebooks used in education system, but instead it's meant to complement it. The overall reception of the simulator was good, several users pointed that the applied forces were in some cases a bit high, a few asked if there would be any additional modules and some express the opinion that it would still take a long time to validate the simulator as a tool for a classroom.

Acknowledgement

This article is based on work undertaken within an international project called Alla Gaviota (Grupos Académicos para la Visualización Orientada por Tecnologías Apropiadas). The project is funded by the European Commission, in which Portugal participates through the research centre GILT (Graphics, Interaction and Learning Technologies) from ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto).