

Roberto Scalco

**Controle do cursor tridimensional via *Wii Remote* em ambiente
de realidade virtual para o ensino de Física**

Campinas, SP
2015

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação

Roberto Scalco

**Controle do cursor tridimensional via *Wii Remote* em ambiente
de realidade virtual para o ensino de Física**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Área de concentração: Engenharia de Computação.

Orientador: Prof^a. Dr-Ing. Wu, Shin-Ting

Este exemplar corresponde à versão final da dissertação defendida pelo aluno Roberto Scalco e orientado pela Prof^a. Dr-Ing. Wu, Shin-Ting

Campinas, SP
2015

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Luciana Pietrosanto Milla - CRB 8/8129

Sca43c Scalco, Roberto, 1979-
Controle do cursor tridimensional via *Wii Remote* em ambiente de realidade virtual para o ensino de Física / Roberto Scalco. – Campinas, SP: [s.n.], 2015.

Orientador: Wu, Shin-Ting.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação.

1. Realidade virtual. 2. Física - Ensino auxiliado por computador. 3. Laboratório de Física. 4. Video games Nintendo. 5. Interfaces gráficas de usuário (Sistema de computador) I. Wu, Shin-Ting, 1958-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Three-dimensional cursor controlled by Wii Remote for virtual reality environment to Physics teaching

Palavras-chave em inglês:

Virtual Reality,

Physics - Computer aided teaching,

Physics laboratory,

Video games Nintendo,

Graphical user interfaces (Computer system)

Área de concentração: Engenharia de Computação

Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica

Banca examinadora:

Wu, Shin-Ting[Orientador]

Octavio Mattasoglio Neto

Eduardo Alves do Valle Junior

Data da defesa: 21-01-2015

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Elétrica

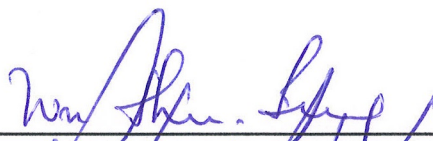
COMISSÃO JULGADORA - TESE DE MESTRADO

Candidato: Roberto Scalco

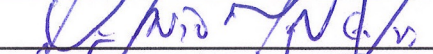
Data da Defesa: 21 de janeiro de 2015

Título da Tese: "Controle do Cursor Tridimensional via Wii Remote em Ambiente de Realidade Virtual para o Ensino de Física"

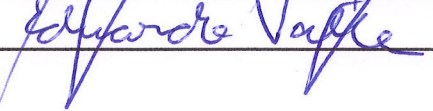
Profa. Dra. Wu Shin-Ting (Presidente):



Prof. Dr. Octavio Mattasoglio Neto:



Prof. Dr. Eduardo Alves do Valle Junior:



Resumo

Como complemento aos laboratórios de Física do curso de graduação de Engenharia, este trabalho propôs-se ao desenvolvimento de um ambiente contextualizado que simula um laboratório virtual de Mecânica Clássica com uma interface tridimensional interativa similar ao usado em videogames. O controle *Wii Remote* foi escolhido como manipulador dos objetos desse ambiente por ser relativamente barato, além de possuir recursos que permitem obter a movimentação da mão do seu usuário no espaço. O *Wii Remote* se mostrou válido como controlador de um cursor 3D perante os testes de usabilidade realizados por um grupo de 27 voluntários. O ambiente virtual desenvolvido representa um objeto de aprendizagem para auxiliar aos alunos com dificuldade em Física, mas sem perder o caráter lúdico do uso do controle de videogame. O professor pode criar cenas que reproduzam os experimentos realizados presencialmente no laboratório, mas introduzir variações em alguns parâmetros para que os alunos possam interagir com mais situações. Para realizar as simulações físicas foi utilizada a *engine* ODE, enquanto a renderização das cenas foi executada pela OpenGL. Questionários que foram aplicados aos alunos antes e depois de utilizarem o ambiente virtual contextualizado para o ensino de Física e seus resultados mostraram que o ambiente pode ser utilizado de maneira complementar à aula tradicional, principalmente nas situações em que a aprendizagem acontece por repetição de tarefas.

Palavras-chave: Realidade virtual, Física - Ensino auxiliado por computador, Laboratório de Física, Video games Nintendo, Interfaces gráficas de usuário (Sistema de computador).

Abstract

As a complement to Physics laboratories in Engineering course, this work aims at developing an environment which simulates a Classical Mechanics virtual laboratory using an interactive three-dimensional interface, similar to video games. The *Wii Remote* control was chosen for the interface to motion tracking object, because it is relatively cheap and allows to get the user hand spatial movements. The developed virtual environment represents a learning object to help students with difficulties in Physics, keeping the playful nature of the video game control usage. As a result of the usability tests, performed by a 27 volunteers group, the *Wii Remote* has proved to be appropriate for a 3D cursor controller. The teacher can create scenes which reproduce the experiments conducted in the laboratory, and also introduce variations in some parameters so that students can interact with a wider range of situations. For the physical simulation and the scene rendering have been implemented with use of the ODE engine and the OpenGL API, respectively. Tests with the volunteers were applied before and after using the virtual environment and the results show that the environment can be used in a complementary way to the traditional class, especially in situations where learning happens by repeating tasks.

Keywords: Virtual Reality, Physics - Computer aided teaching, Physics laboratory, Video games Nintendo, Graphical user interfaces (Computer system).

Sumário

Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xix
Lista de Símbolos	xxi
1 Introdução	1
1.1 Motivação	2
1.2 Objetivos do trabalho	3
1.2.1 Problemas	4
1.2.2 Contribuições	5
1.3 Organização do trabalho	5
2 Revisão bibliográfica	7
2.1 Aspectos educacionais	7
2.1.1 Representações e manipulações de modelos mentais	7
2.1.2 Avaliação do aprendizado	9
2.2 Ambientes virtuais para o ensino de Física	11
2.2.1 Objetos de Aprendizagem	11
2.2.2 <i>Engines</i> de Física	12
2.2.3 Aplicativos de aprendizagem com uso de tecnologia digital	15
2.3 <i>Wii Remote</i>	16
2.3.1 Características técnicas	16
2.3.2 Trabalhos correlatos	18
3 Metodologia para análise de dados	25
3.1 Coleta de dados	25
3.2 Técnicas de Análises Estatísticas	26
3.2.1 Regressão linear	26
3.2.2 Estatística descritiva	27
3.2.3 Estatística analítica	29
3.3 Curva de Aprendizagem	34

4	Controle de um cursor 3D via <i>Wii Remote</i>	37
4.1	Problemas encontrados	37
4.2	Movimentação do cursor	39
4.2.1	Movimentos e interações do usuário	39
4.2.2	Distância entre o <i>Wii Remote</i> e a tela	40
4.2.3	Ângulos de rotação do <i>Wii Remote</i>	41
4.2.4	Trajetória do cursor	42
4.2.5	Realimentação visual	43
4.3	Bibliotecas auxiliares	43
4.4	Análise dos resultados quantitativos	44
4.4.1	Distância entre o <i>Wii Remote</i> e a <i>WiiBar</i>	44
4.4.2	Ângulos de rotação do <i>Wii Remote</i>	45
4.5	Análise da usabilidade	45
4.5.1	Perfil demográfico dos usuários	47
4.5.2	Desempenho dos usuários	48
4.5.3	Dificuldades em movimentos básicos	52
4.5.4	Dificuldade em realização de tarefas propostas	53
4.5.5	Reação háptica	54
4.5.6	Considerações sobre os resultados	55
5	Ambiente de simulações físicas	57
5.1	Modelagem de dados das cenas	57
5.1.1	Modelagem geométrica	58
5.1.2	Modelagem física	60
5.1.3	Interações e restrições de movimento	61
5.1.4	Elementos visuais auxiliares	62
5.2	Interface com os professores	63
5.3	Interface com os alunos	66
5.3.1	Conexão entre o <i>Wii Remote</i> e o computador	66
5.3.2	Abertura de arquivos de cenas	67
5.3.3	Simulação e visualização	68
5.4	Metodologia da aplicação dos testes	70
5.4.1	Delimitação do questionário	70
5.4.2	Ambientes Experimentais	71
5.4.3	Protocolo de aplicação	76
5.5	Verificação do aprendizado	77
5.5.1	Perfil demográfico dos alunos	78
5.5.2	Verificação do aprendizado por repetição	78
5.5.3	Verificação do aprendizado para novas situações propostas	83
5.5.4	Verificação da retenção do conhecimento	84
5.5.5	Considerações sobre os resultados	86
6	Conclusões	87

Referências	91
Anexo A - Trabalhos Publicados Pelo Autor	97
Anexo B - Roteiro de Aplicação	98
Anexo C - Termo de Livre Consentimento	100
Anexo D - Questionários	102
Anexo E - Descrições das cenas armazenadas em arquivos XML	110

Agradecimentos

A todos os familiares, amigos e colegas de trabalho que sempre me apoiaram e incentivaram ao longo desses anos, estejam eles ainda no meu convívio diário ou em outras oportunidades dadas pela vida.

À Prof^a Wu, Shin-Ting pela orientação que me deu na condução do projeto, desde as discussões iniciais até as cobranças sobre as análises estatísticas, a confecção deste texto e, principalmente, por toda a paciência em meus longos períodos de ausência. Agradeço também aos seus orientandos da FEEC que vieram antes de mim e contribuíram em suas pesquisas sobre as interações do cursor 3D.

Aos professores Prof. Eduardo Alves do Valle Junior que recomendou a metodologia para a avaliação dos conhecimentos de Física dos alunos e, principalmente, pela contribuição sobre os métodos estatísticos empregados e a análise desses resultados; e Prof. Octavio Mattasoglio Neto que me auxiliou com a criação dos questionários e com o planejamento do protocolo de aplicação desses questionários.

Um especial agradecimento ao amigo Guilherme Wolf Lebrão que um dia me trouxe um controle *Wii Remote*, sem a tampa das pilhas e me disse: “acho que os meninos quebraram, veja se consegue usar para alguma coisa” ... e eu usei.

Aos amigos Marcelo Marques Gomes e Jorge Kawamura que ajudaram nas revisões deste texto e dos artigos, além de uns bons palpites ao longo dessa jornada. À amiga Daniela Caio André Gomes que assumiu parte das minhas responsabilidades na disciplina para que eu pudesse dedicar mais tempo ao desenvolvimento deste trabalho. Ao amigo Daniel Kashiwamura Scheffer pelas longas horas de explicação, análise de dados e revisão de toda a parte estatística do trabalho.

Aos alunos que tive a oportunidade de orientar na graduação e que contribuíram com algumas partes deste trabalho: Thiago Bedin Frustaci e Vladimir Cavalcanti Dobroff, que foram os primeiros a “brincar” com a biblioteca ODE em seu laboratório virtual; Alessandro Guilherme de Freitas, que me ajudou a dar os primeiros passos com o *Wii Remote* e Ricardo Silva Tavares, que ajudou na modelagem do posicionamento do cursor.

Aos alunos e colegas de trabalho que, em 2013, contribuíram com seu tempo para testar e expor suas opiniões sobre o cursor 3D. E aos alunos que, em 2014, se dispuseram a participar, em dois dias, dos questionários e testes com as simulações para verificação do aprendizado.

Ao Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia pelo apoio financeiro dado à divulgação deste trabalho em congressos, bolsas ao aluno monitor de projeto e de iniciação científica, além da oportunidade da condução da pesquisa no *Campus*, com a participação dos alunos da instituição.

Lista de Figuras

2.1	Formas geométricas disponíveis na ODE: esfera, paralelepípedo, cápsula, plano e dois exemplos de malhas triangulares modeladas proceduralmente ou com elementos importados de um arquivo criado por um aplicativo gráfico 3D comercial.	13
2.2	Vistas frontal (acima) e posterior (abaixo) do <i>Wii Remote</i>	16
2.3	Representação das direções das componentes da aceleração medidas pelo acelerômetro e enviadas ao programa. Deve-se notar que a base representadas pelos eixos corresponde ao sistema levógiro.	17
2.4	Sistema LEMMA sendo utilizado com dois monitores como dispositivo de saída e uma <i>Data Glove</i> como dispositivo de entrada de dados.	19
2.5	Imagem gerada pela composição do vídeo de uma câmera com a sobreposição de modelos 3D utilizando a biblioteca ARToolKit.	19
2.6	Simulação do experimento sobre colisões bidimensionais em um laboratório virtual de Física.	20
2.7	Ambiente de ensino desenvolvido na plataforma Open Wonderland com painéis que trazem informações sobre a Lei de Faraday, além da representação 3D de um experimento.	21
2.8	Montagem para realizar a experiência de um pêndulo simples, utilizando o acelerômetro do <i>Wii Remote</i> para coletar dados do experimento.	21
2.9	Diagrama da montagem do experimento de Cavendish com a câmera do <i>Wii Remote</i> utilizada para ler o movimento da luz refletida sobre a parede.	22
2.10	Quadro branco digital usando a câmera do <i>Wii Remote</i> para coletar a posição de uma caneta com LED infravermelho.	23
3.1	Medidas de posição e dispersão sobre a distribuição normal.	28
3.2	Testes estatísticos para comparações entre grupos.	30
4.1	Operações básicas definidas pela <i>Nintendo</i> para o uso do <i>Wii Remote</i> enquanto o jogador utiliza o videogame <i>Nintendo Wii</i>	39
4.2	<i>Wii Remote</i> e <i>WiiBar</i>	40
4.3	Correção dos eixos do acelerômetro no <i>Wii Remote</i> para o sistema dextrógiro.	41
4.4	Vetores que compõem a base B sobre a <i>WiiBar</i>	41
4.5	Representação do cursor 3D, como um bloco amarelo e linhas vermelhas para auxiliar o usuário com a navegação do cursor 3D.	43

4.6	Ambiente de teste contendo dois objetos preenchidos, de cores e tamanhos diferentes, bem como as linhas que indicam os respectivos alvos, com tamanho e cores correspondentes.	46
4.7	Valores médios, delimitados pelos respectivos erros padrão, das distâncias relativas (adimensional) entre objetos e respectivos alvos obtidos ao longo dos seis testes e distribuídos segundo o grau de experiência dos usuários.	49
4.8	Histograma indicando as faixas de distâncias relativas (adimensional) médias entre objetos e seus respectivos alvos que os usuários posicionaram os blocos, independente do número de testes e do número de blocos de cada teste.	50
4.9	Valores médios, delimitados pelos respectivos erros padrão, dos tempos totais da realização dos seis testes em função do grau de experiência dos usuários.	50
4.10	Tempos médios, por bloco, para posicionamento de cada um dos seis testes.	51
4.11	Histograma indicando as faixas do tempo médio que os usuários levaram para movimentar um bloco, independente do número de testes e do número de blocos de cada teste.	51
4.12	Grau de dificuldade expresso pelos usuários, entre 1 e 5, do movimento do cursor 3D nas direções horizontal, vertical e profundidade, classificados de acordo com o nível de experiência dos usuários.	53
4.13	Grau de dificuldade expresso pelos usuários, entre 1 e 5, na realização das tarefas: sem bloco, mover, segurar e posicionar, considerando os diferentes graus de experiência dos participantes.	54
4.14	Opinião dos usuários sobre o quanto a reação háptica como realimentação de seleção e movimentação de objetos pode auxiliar na percepção de estar segurando o objeto do mundo virtual.	55
5.1	Interface do aplicativo do professor para criação e edição das cenas.	63
5.2	Interface para definição da cor do objeto, composta pelas componentes vermelho, verde e azul, bem como a transparência.	64
5.3	Interface para seleção da cor do objeto. O usuário pode selecionar uma cor predefinida, escolher visualmente na paleta ou atribuir valores no sistema RGB ou HSL. . .	64
5.4	Interface para salvar o arquivo da cena.	65
5.5	Arquitetura de interações do aplicativo dos alunos.	66
5.6	Conectando o <i>Wii Remote</i> com o computador.	67
5.7	Tela inicial do aplicativo.	67
5.8	Cena do caso 1 - esferas sem gravidade, com representação gráfica dos respectivos vetores velocidade.	72
5.9	Cena do caso 2 - esferas com gravidade, com representação gráfica dos respectivos vetores velocidade, além do traçado das trajetórias.	73
5.10	Cena do caso 3 - queda livre de três esferas com massas distintas soltas de mesma altura, com representação gráfica dos respectivos vetores velocidade.	74
5.11	Cena do caso 4 - esferas lançadas de cima de uma mesa por uma barra controlada pelo cursor 3D. São representados os vetores velocidade e a trajetória das duas esferas. . .	75
5.12	Cena do caso 5 - campo de esferas e nave que pode ser lançada contra as esferas pelo cursor 3D.	76

5.13	Cronograma de aplicação.	76
5.14	Aluna durante o experimento.	77
5.15	Histograma com a diferença entre o número de acertos do teste Pós em relação ao Pré indicando que nenhum aluno diminuiu o número de acertos após utilizar a ferramenta.	81
5.16	Histograma com o ganho percentual de acertos do teste Pós em relação ao Pré . A distribuição mostra um número equivalente de alunos que aumentaram e diminuiram as notas após o uso do ambiente	84
5.17	Histogramas com o ganhos percentuais de acertos do teste Pós em relação ao Pré , separados por categorias das questões.	84
5.18	Histograma com a diferença absoluta entre o número de acertos do teste Reteste em relação ao Pós . Há uma maior concentração de alunos que diminuiram a nota após uma semana.	85
5.19	Histograma com a diferença absoluta entre o número de acertos do teste Reteste em relação ao Pós , separados por categorias das questões.	86

Lista de Tabelas

4.1	Medidas de profundidade do <i>Wii Remote</i> em relação a <i>WiiBar</i>	44
4.2	Medidas da rotação β do <i>Wii Remote</i> em torno do eixo x.	45
4.3	Medidas da rotação γ do <i>Wii Remote</i> em torno do eixo y.	45
5.1	Comparação do desempenho dos usuários em Q1_Pré e Q1_Pós.	79
5.2	Comparação do desempenho dos usuários em Q2_Pré e Q2_Pós.	80
5.3	Comparação do desempenho dos usuários em Q3_Pré e Q3_Pós.	80
5.4	Comparação do desempenho dos usuários em Q4_Pré e Q4_Pós.	80
5.5	Estatísticas descritivas do total de acertos das questões Q1, Q2, Q3 e Q4, divididas de acordo com uso da reação háptica para os testes aplicados antes e depois dos alunos fazerem as simulações.	82
5.6	Estatísticas descritivas do percentual total de acertos nos questionários Pré e Pós . . .	83
5.7	Estatísticas descritivas da soma total de acertos nos questionários Pós e Reteste	85

Lista de Símbolos

<i>2D</i>	- Bidimensional
<i>3D</i>	- Tridimensional
<i>ANOVA</i>	- Análise de Variância
<i>FCI</i>	- <i>Force Concept Inventory</i>
<i>GPU</i>	- <i>Graphics Processing Unit</i>
<i>HSL</i>	- <i>Hue-Saturation-Luminosity</i> . Sistema de cores com componentes matiz, saturação e luminosidade
<i>LED</i>	- <i>Light Emitting Diode</i>
<i>MBT</i>	- <i>Mechanics Baseline Test</i>
<i>OA</i>	- Objeto de Aprendizagem
<i>ODE</i>	- <i>Open Dynamics Engine</i>
<i>OPCODE</i>	- <i>Optimized Collision Detection</i>
<i>RGB</i>	- <i>Red-Green-Blue</i> . Sistema de cores em 24 bits
<i>RGBA</i>	- <i>Red-Green-Blue-Alpha</i> (opacidade). Sistema de cores em 32 bits
<i>XML</i>	- <i>eXtensible Markup Language</i>

Capítulo 1

Introdução

Um problema enfrentado por muitos professores universitários das disciplinas de Exatas é o desinteresse de parte dos alunos pelo curso. Esse desinteresse é ocasionado por um processo realimentado pelas dificuldades que os alunos encontram no decorrer dos primeiros semestres do curso. O ciclo dificuldade-desinteresse-mais dificuldade é um dos principais motivos para a evasão escolar.

Parte das dificuldades iniciais enfrentadas por alunos ingressantes em cursos superiores da área de Exatas são oriundas de deficiências relacionadas à manipulação de ferramentas algébricas, bem como a interpretação gráfica de fenômenos físicos (BARBETA; YAMAMOTO, 2002). Além das dificuldades conceituais, os alunos desenvolvem concepções espontâneas sobre os mais diversos assuntos, definidas como:

[...] noções pré-existentes e independentes do ensino formal que os alunos revelam, ao serem, de alguma forma, questionados e que, de fato, constituem uma estrutura conceitual paralela àquela ensinada - estrutura muitas vezes capaz de sobreviver ao ensino (VILLANI et al., 1982).

Essas relações estabelecidas entre conceitos e fatos vivenciados, normalmente, podem associar conceitos equivocados a determinados fenômenos físicos. Zylbersztajn (1983) apresenta exemplos de concepções espontâneas, relacionados ao conteúdo de Dinâmica e Cinemática, desenvolvidas ao longo da vida acadêmica de alguns alunos que podem causar confusão quando os conceitos científicos são questionados:

- a) **força e velocidade:** em um lançamento vertical, alguns alunos consideram que um corpo não está sujeito a nenhuma força no momento em que sua velocidade é nula, quando o corpo atinge a altura máxima;
- b) **ação e reação:** considerando uma disputa de cabo de guerra, alguns alunos sinalizaram que o competidor que estava vencendo aplicava uma ação maior na corda do que a reação do outro competidor;

- c) **altura e gravidade:** alguns alunos consideram que as forças atuantes em um corpo que está no alto de uma pista inclinada é maior do que as forças, aplicadas ao mesmo corpo, na parte inferior da rampa, considerando que em ambas as situações o corpo esteja parado.

Isso mostra que, embora os alunos tenham uma noção do problema, esses conceitos desenvolvidos por observação devem ser trabalhados, alinhando-os com conceitos científicos.

1.1 Motivação

Durante as aulas de laboratório de Física da primeira série do curso de Engenharia, pode-se observar que grande parte dos alunos executam os procedimentos experimentais de maneira mecânica, simplesmente seguindo os passos do roteiro, sem estarem atentos em estabelecer uma correlação com os conceitos apresentados nas aulas de teoria. Com base nesse problema faz-se necessário que os professores desenvolvam estratégias que estimulem os alunos, tanto sob o aspecto da motivação quanto à satisfação em realizarem a atividade.

Uma característica da Física que a torna particularmente difícil para os alunos é o facto de lidar com conceitos abstractos e, em larga medida, contra-intuitivos. A capacidade de abstracção dos estudantes, em especial os mais novos, é reduzida. Em consequência, muitos deles não conseguem apreender a ligação da Física com a vida real (FIOLHAIS; TRINDADE, 2003, p. 260).

A conversão mental dos fenômenos físicos observados para os modelos algébricos e conceituais vistos na teoria deve ocorrer de maneira natural, permitindo maior receptividade para a situação pelo envolvimento com um ambiente. Isso ocorre pelo fato de que a apresentação do conteúdo formal do curso, sob uma abordagem emocional, permite que o aprendizado ocorra de maneira significativa, como citado por Vygotsky em sua obra “Psicologia pedagógica”, publicada originalmente em 1926:

O mestre deve ter sempre a preocupação de preparar as respectivas potencialidades não só da mente como também do sentimento. Não devemos nos esquecer de atingir o sentimento do aluno quando queremos enraizar alguma coisa na sua mente. Dizemos frequentemente: ‘Eu me lembro disso por que me impressionou na infância’ (VYGOTSKY, 2004, p. 195).

Assim, devem ser ponderados elementos de duas abordagens quanto às estratégias de ensino:

- a) **conceitual:** concentrando esforços para sanar dúvidas referentes aos conceitos algébricos, gráficos e de interpretação e modelagem de fenômenos físicos;
- b) **psicológica:** estimulando a motivação dos alunos pelo interesse ao estudo de tais fenômenos, seja com diferentes abordagens da prática didática em sala de aula ou fazendo o uso de atividades lúdicas.

Essas atividades lúdicas podem ser utilizadas para permitir o alinhamento entre os conceitos científicos, que serão apresentados ao longo do curso, com os conceitos espontâneos, tanto os previamente concretizados pelos alunos (que devem ser modificados), quanto os que ainda serão desenvolvidos, e naturalmente serão. Entretanto, para direcionar os eventuais conceitos espontâneos que os alunos desenvolverão, é necessário:

[...] conhecer a forma de pensar dos alunos, trabalhar com as concepções espontâneas que trazem e planejar estratégias para reelaborá-las é, pois, de importância fundamental para que se possam minimizar as dificuldades conceituais apresentadas e assim maximizar o processo de aprendizagem (BARBETA; YAMAMOTO, 2002).

Uma possível abordagem que permita desenvolver estratégias com caráter lúdico faz uso de tecnologias fundamentadas na informática, permitindo que novas perspectivas sejam exploradas para facilitar o processo de ensino-aprendizagem. Fiolhais e Trindade (2003) citam cinco abordagens que podem ser exploradas para a utilização de recursos computacionais como estratégias para o ensino de Física:

- a) **aquisição de dados:** o professor pode explorar os experimentos com a abordagem clássica e confrontar os resultados com os obtidos com o uso de sensores.
- b) **modelagem e simulação:** existem aplicativos que permitem realizar simulações e verificar os resultados;
- c) **multimídia:** esse conceito pode ser entendido como um conjunto de recursos, sejam textos, hipertextos, imagens, animações e vídeos, permitindo ao aluno explorar os recursos de maneira não linear, conforme a sua necessidade;
- d) **realidade virtual:** ferramenta de visualização, imersiva ou não, que permite simular situações tridimensionais onde o aluno pode interagir com objetos virtuais, realizando experiências em primeira pessoa;
- e) **internet:** além de permitir realizar a aquisição de dados em experimentos remotos, executar simulações, apresentar um ambiente de ensino com recursos multimídia e de realidade virtual, permite ao aluno fazer suas próprias explorações em busca das situações apresentadas pelo professor.

Essas abordagens devem ser avaliadas, verificando quais devem ser inseridas no processo de ensino-aprendizagem e em que momento isso deve ser feito. Cabe ao professor avaliar como deve ser feito o uso desses elementos como objetos de ensino.

1.2 Objetivos do trabalho

Visando a aumentar a motivação e o interesse dos alunos do curso de Engenharia, o principal objeto deste trabalho é explorar o potencial lúdico do controle *Wii Remote* do videogame *Nintendo Wii*

num ambiente de laboratório virtual, de tal maneira que sejam reduzidas as concepções espontâneas equivocadas sobre alguns conceitos básicos de Física.

Propõe-se utilizar o controle *Wii Remote* do videogame *Nintendo Wii* como *hardware* de interface com o usuário, de modo que os movimentos realizados pelo usuário no espaço sejam captados e transformados em comandos para a movimentação de um apontador 3D, denominados cursor 3D, no espaço virtual. A partir deste cursor que se movimenta de maneira equivalente ao da mão do usuário, é possível desenvolver experimentos para um laboratório virtual contendo objetos que possam ser selecionados ou manipulados quando tocados por ele. Além disso, o controlador possui um motor para gerar pequenas vibrações que podem dar ao usuário a sensação de que o cursor realmente tocou algum objeto do mundo virtual proporcionando uma interface háptica.

A avaliação da efetividade dessa proposta para o rompimento do ciclo vicioso dificuldade-desinteresse-mais dificuldade nos laboratórios de Física se dá ao criar um ambiente gráfico tridimensional que permita a professores e alunos interagirem com objetos que possuem propriedades físicas, simulando experimentos realizados num laboratório. Por se tratar de uma aplicação gráfica, os principais fenômenos abordados estão relacionados às áreas da Dinâmica e Cinemática. O ambiente pode apresentar ao usuário os principais conceitos científicos utilizando modelos gráficos, mostrando as principais diferenças entre forças e velocidades associadas aos objetos que compõem o experimento.

1.2.1 Problemas

Ao se desenvolver um objeto de aprendizagem deve-se levar em conta não somente os aspectos técnicos da implementação, mas, principalmente, como o processo cognitivo pode ser facilitado com o uso da ferramenta. Assim, houve a necessidade de realizar uma pesquisa sobre como as informações referentes à Matemática e Física são relacionadas pelos alunos.

Foi considerado que se o aluno tiver uma parcela ativa nas simulações do ambiente, o ganho em conhecimento poderia ser mais significativo, do ponto de vista de aprendizagem. Assim, o ambiente virtual deveria, além de apresentar as simulações com fundamentos físicos que os alunos pudessem facilmente identificar, possuir uma grande parcela de interatividade com os elementos do experimento proposto pelo professor.

Com relação ao desenvolvimento técnico do cursor, alguns pontos tiveram que ter um estudo mais aprofundado para poder converter os dados de aceleração recebidos do *Wii Remote* em movimento do cursor 3D na tela, condizente com a expectativa do usuário. Além disso, é de fundamental importância a realimentação visual das ações do usuário para que este pudesse claramente localizar o cursor no espaço e identificar a sua posição em relação ao demais objetos da cena.

Outro fator que deve ser considerado é que a avaliação da usabilidade do cursor e do ambiente foram realizados por alunos, que voluntariamente, participaram do experimento. Entretanto, nem

sempre a amostra representa uma parcela significativa da população, quando classificados segundo suas habilidades motoras, de visualização espacial e nível de conhecimento sobre os assuntos abordados no ambiente educacional. Dessa maneira, não se pode generalizar os resultados expressos neste trabalho para a população em geral, mas podem ser obtidos novamente em grupos com características demográficas equivalentes.

1.2.2 Contribuições

Podem ser ressaltadas duas principais contribuições sobre o que foi desenvolvido neste projeto.

A primeira consiste no desenvolvimento de um cursor que pode navegar tridimensionalmente em um ambiente virtual em função do movimento que o usuário faz com o controle *Wii Remote*. Esse cursor pode ser utilizado em diversos aplicativos onde a interação 3D é necessária, como, por exemplo, aplicativos para modelagem de sólidos e superfícies ou jogos em primeira ou terceira pessoa.

Outra contribuição deste trabalho consiste no estudo e desenvolvimento de um ambiente de aprendizado virtual mas, como principal diferencial de laboratórios virtuais e simuladores desenvolvidos pela comunidade até então, a interação dos alunos se dá utilizando o controle *Wii Remote* com os objetos do ambiente virtual, dando significado físico do mundo real e potencializado pelo fator lúdico devido ao fato de que muitos alunos universitários possuem algum modelo de videogame em seus lares e os utilizam, exclusivamente, para o lazer e, portanto, já estão familiarizados à sua interface de controle de movimentos. Como exemplo, pode-se citar o *PlayStation Move* da Sony, o *Kinect* do *Microsoft Xbox 360* ou o próprio *Nintendo Wii Remote*. Desta maneira é possível expandir tanto a acessibilidade quanto o uso, uma vez que não é necessário possuir o videogame, apenas o controle, que tem um baixo custo de aquisição.

Além dessas contribuições, este trabalho apresenta um pequeno resumo de como e quando utilizar um conjunto de técnicas de análise estatísticas para auxiliar os futuros pesquisadores a preparar e a analisar os resultados obtidos por questionários respondidos por voluntários que realizam testes de novas ferramentas de interação para aplicativos 3D, bem como a avaliação de resultados alcançados por seus projetos.

1.3 Organização do trabalho

Este trabalho apresenta neste capítulo 1 a motivação deste estudo, considerando o problema da falta de interesse por parte do corpo discente no estudo de fenômenos físicos. Além disso, também foi apresentada uma proposta para o uso do controle *Wii Remote* como interface de interação para um ambiente virtual para o ensino de Física, com intuito de desenvolver o interesse dos alunos utilizando

uma ferramenta lúdica, presente em seu cotidiano.

A seguir, o capítulo 2 mostra uma revisão da bibliografia existente sobre metodologias aplicadas ao ensino, principalmente relacionadas às áreas de exatas, incluindo uma visão abrangente sobre objetos de aprendizagem (OA). Também foram considerados na pesquisa objetos de aprendizado direcionados ao ensino de Física sob a forma de simuladores, bem como bibliotecas dedicadas (*engines*) à criação de ambientes tridimensionais com elementos sujeitos às leis da Física. Além dos elementos voltados diretamente ao ensino de Física, o capítulo 2 contém um estudo sobre o controle *Wii Remote*, mostrando como o revolucionário controle da *Nintendo* pode ter sua interatividade utilizada nas mais diversas aplicações.

O capítulo 3 apresenta uma ferramenta para a elaboração de questionários para coleta de dados, bem como as técnicas de análise estatística que foram utilizadas no trabalho, ressaltando as ferramentas de inferência para determinar a validade dos resultados. Além disso, é apresentada uma metodologia para a determinação da curva de aprendizagem de uma tarefa específica.

O capítulo 4 versa sobre o desenvolvimento do cursor 3D controlado pelo *Wii Remote*, desde o ambiente de programação e bibliotecas auxiliares utilizados, como foram feitas as leituras do sensor de aceleração e a modelagem matemática do movimento do cursor pelo espaço virtual. Além disso, são apresentados os resultados sob o ponto de vista técnico, avaliando as medições de deslocamento e ângulos obtidos e esperados. O capítulo fecha com a análise de uma pesquisa respondida por um grupo de usuários onde foi analisada a viabilidade e usabilidade do uso do *Wii Remote* como manipulador de um cursor 3D.

Em seguida, o capítulo 5 apresenta as características dos aplicativos desenvolvidos para os alunos e professor, ressaltando a modelagem dos dados armazenados em arquivo, a *engine* física e o como o cursor 3D pode ser utilizado. Além dos aspectos técnicos, são apresentados como foram definidos os questionários para avaliar como a ferramenta pode influenciar no processo de aprendizagem dos alunos sobre os assuntos simulados no aplicativo. É feita uma análise dos resultados dos questionários para verificar o aprendizado obtido, bem como a retenção dos assuntos observada em um questionário aplicado uma semana após o uso da ferramenta.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões sobre o estudo, o desenvolvimento e a aplicação da metodologia apresentada, bem como sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão bibliográfica

Este capítulo apresenta uma pesquisa junto à bibliografia considerando trabalhos tomados como base para o desenvolvimento do projeto, tanto sob o ponto de vista da análise das capacidades do *hardware Wii Remote*, quanto a análise dos aspectos pedagógicos que fundamentam as bases teóricas sobre o processo de ensino-aprendizagem necessários para o desenvolvimento de um ambiente temático envolvendo o uso do cursor 3D desenvolvido.

2.1 Aspectos educacionais

Nesta seção serão apresentados alguns problemas que os alunos possuem em relacionar mentalmente um elemento ou situação com a modelagem do problema físico. Para auxiliar os alunos a fazerem a correlação entre essas representações, podem ser utilizados objetos de aprendizagem, sob a forma de aplicativos que permitam aos alunos verificar relações de causa (interação com objetos) e efeito (simulados por um *engine* físico).

2.1.1 Representações e manipulações de modelos mentais

Para compreender como o processo de aprendizado ocorre, pode-se recorrer à teoria dos modelos mentais de Garnham (1997) que mostra como a compreensão se dá por um processo construtivo combinando as informações que o aluno está recebendo com as armazenadas na memória. Dessa maneira, o desenvolvimento do significado que se está aprendendo é formado por um processo interpretativo, como ilustrado a seguir por Costa e Moreira (2002):

[...] a atividade de resolver problemas é intrínseca ao processo de ensino-aprendizagem, podendo, inclusive, ser concebida como meio e/ou fim do mesmo. Para começar, consideramos um problema como uma situação na qual um indivíduo, uma vez tendo-a reconhecida como tal, necessita utilizar processos envolvendo reflexão, raciocínio e tomadas de decisões para seguir um caminho na busca de solucioná-la. Não acabamos de sintetizar o processo de aprendizagem? Pois aprender não é tomar conhecimento de alguma coisa, retê-la na memória, tornar-se apto ou capaz de alguma coisa, em consequência de estudo, observação, experiência, discernimento? Aprender requer uma atitude de confronto com um problema para o qual não se tem, mas busca-se a resposta (COSTA; MOREIRA, 2002).

David Ausubel propôs o conceito de subsunçor, que pode ser um pré-conhecimento específico que um indivíduo possui sobre determinado assunto, e que permite dar significado a novos conhecimentos que são apresentados ou descobertos por observação ou experimentação. No processo construtivo da aprendizagem, os subsunçores são utilizados para ancorar os novos conceitos durante o aprendizado. (MOREIRA, 2012)

O processo de aprendizado é constituído de ciclos em que o significado dado aos conceitos são aprimorados, gerando novos subsunçores com significados mais elaborados. O exemplo a seguir mostra esse processo iterativo durante o aprendizado de novos conceitos de Física a partir de conceitos previamente conhecidos:

[...] para um aluno que já conhece a Lei da Conservação da Energia aplicada à energia mecânica, resolver problemas onde há transformação de energia potencial em cinética e vice-versa apenas corrobora o conhecimento prévio dando-lhe mais estabilidade cognitiva e talvez maior clareza. Mas se a Primeira Lei da Termodinâmica lhe for apresentada (não importa se em uma aula, em um livro ou em um moderno aplicativo) como a Lei da Conservação da Energia aplicada a fenômenos térmicos ele ou ela dará significado a essa nova lei na medida em que ‘acionar’ o subsunçor Conservação da Energia, mas este ficará mais rico, mais elaborado, terá novos significados pois a Conservação da Energia aplicar-se-á não só ao campo conceitual da Mecânica mas também ao da Termodinâmica. (MOREIRA, 2012, p. 31).

O problema relacionado às concepções espontâneas equivocadas está diretamente ligado à má formação dos subsunçores. Além disso, uma dificuldade nesse processo de confronto com novas situações de aprendizado consiste na interpretação dos elementos (matemáticos ou fenomenológicos) envolvidos. Quando a percepção entre os diferentes tipos de representação de um mesmo elemento, denominados registros matemáticos, torna-se transparente ao processo de aprendizagem, a modelagem e a resolução do problema serão realizadas de forma mais simples e direta. Duval (2003) mostra que as mudanças de representação desses registros podem ser divididas em dois grupos:

- a) **tratamentos:** transformações de representações dentro do mesmo registro. Por exemplo, a resolução algébrica de um sistema de equações, em que todos os passos da resolução o registro matemático é uma matriz;

- b) **conversões:** transformações de representações que mudam de registro, mas conservam os objetos denotados. Por exemplo, transcrição de uma função para sua forma gráfica ou tabela de pontos.

Particularizando ao ensino da Física, podem-se realizar demonstrações ou experimentos em aula para facilitar o desenvolvimento da habilidade dos alunos em realizarem tratamentos ou conversões entre os registros. Como exemplo de conversões, pode-se discutir com os alunos sobre como cada coeficiente de uma equação do segundo grau pode modificar o traçado de uma parábola, explorando a conversão entre as representações algébrica e gráfica. Em conjunto com essa análise, os coeficientes podem ser relacionados à geometria do local de um lançamento balístico, bem como com a intensidade e o ângulo da velocidade inicial de um projétil, estabelecendo a conversão entre as representações algébricas, gráfica e as grandezas físicas.

A operação do tratamento de um registro pode ser exemplificada com experimentos sobre colisões entre corpos, em que o aluno pode verificar a relação de causa (manipulando algum objeto) e efeito (observando os registros matemáticos das velocidades e das direções do movimento dos corpos após uma colisão). Durante o desenvolvimento deste projeto os tratamentos de registros foram escolhidos, pois o aplicativo pode apresentar situações de cada um dos registros sempre em sua forma gráfica (seja pela representação de vetores de velocidade e aceleração ou pelo traçado da trajetória dos corpos), permitindo ao aluno interagir com os objetos durante a simulação.

2.1.2 Avaliação do aprendizado

Ao desenvolver uma ferramenta educacional, torna-se necessário avaliar o quanto ela pode auxiliar os usuários na correção das concepções espontâneas sobre os conceitos da Física. É necessário realizar uma avaliação diagnóstica, bem como uma avaliação subsequente à aplicação dos testes, verificando se com o uso do aplicativo houve diminuição desses equívocos. Para o desenvolvimento das avaliações, foram analisados dois questionários amplamente explorados por professores do ensino médio e universitário (SILVAL; SILVA; MANSOR, 2009), descritos a seguir, para a confecção do questionário respondido pelos alunos.

Mechanics Baseline Test

O *Mechanics Baseline Test* (MBT) é um questionário desenvolvido por Hestenes e Wells (1992) com intuito de avaliar qualitativamente a compreensão de conceitos fundamentais da Mecânica a partir de questões que versam sobre conceitos introdutórios de Física.

O teste possui 26 questões, sendo que algumas exigem que o aluno realize alguns cálculos para resolver os problemas apresentados.

Force Concept Inventory

Hestenes, Wells e Swackhamer (1992) desenvolveram o teste *Force Concept Inventory* (FCI) para avaliar alunos que não possuam formalismo sobre Mecânica, mas que utilizem seu senso comum e experiência pessoal como subsídios para responderem ao questionário. Ao contrário do MBT, o FCI não possui questões que exijam que o aluno realize cálculos matemáticos.

Os autores classificaram as 29 questões em seis categorias e as distribuíram de maneira aleatória no questionário e não agrupadas por assunto. Em cada assunto foram relacionados os conceitos corretos e os que os alunos acreditam que sejam corretos, em função da construção espontânea equivocada do conhecimento que tiveram em suas experiências. A relação a seguir mostra como os conceitos equivocados são explorados nas questões:

- a) **cinemática**: questões que verificam se os alunos percebem a diferença entre os conceitos de posição, velocidade e aceleração;
- b) **primeira lei de Newton**: questões sobre a inércia dos corpos que podem levar erroneamente ao antigo conceito de *impetus*, ou seja, a ideia de que existe uma “força” que movimenta os objetos com velocidade constante;
- c) **segunda lei de Newton**: as alternativas tratam de uma “força ativa”, exercida somente pelo agente ativo e não pelo corpo passivo do sistema;
- d) **terceira lei de Newton**: equívocos sobre corpos com maior massa que aplicam maior força no sistema;
- e) **princípio da superposição**: trata de questões em que as forças são aplicadas aos corpos e que podem levar o aluno a acreditar que a última força aplicada determinará o movimento do corpo;
- f) **tipos de força**: contém questões relacionadas ao movimento de corpos influenciados por outros fatores, pertencentes às subcategorias **Contato sólido**, **Contato fluido** e **Gravitação**, abrangendo os efeitos do atrito, resistência do ar e gravidade.

Pode-se notar que a abordagem das alternativas das questões estão alinhadas com as concepções espontâneas equivocadas apresentadas no trabalho de Zylbersztajn (1983), citadas no capítulo 1 deste trabalho.

O trabalho de Hestenes, Wells e Swackhamer (1992) vêm sendo utilizado ao longo dos anos por diversos educadores da área de Física, como mostram Silval, Silva e Mansor (2009) e Fernandes (2011), permitindo aos pesquisadores verificarem se seus alunos conseguem compreender bem os conceitos envolvidos em cada um dos problemas. Além disso, o teste consegue ressaltar qual foi o conceito equivocado que o aluno possui sobre determinado assunto, uma vez que o inventário também apresenta quais são os prováveis conceitos físicos que um aluno relacionou com a alternativa incorreta.

Os testes FCI e MBT se complementam, permitindo delimitar o perfil do alunos sobre o entendimento da maioria dos conceitos newtonianos básicos. Entretanto, para delimitar as questões utilizadas para avaliar o aluno antes e depois de utilizar o aplicativo proposto neste trabalho, optou-se pelo FCI, em virtude de sua proposta de questões menos formais, sem a necessidade de cálculos e idealizadas para resposta com base na experiência do aluno, permitindo observar indiretamente os eventuais erros conceituais gerados por conceitos espontâneos que o aluno traz consigo.

2.2 Ambientes virtuais para o ensino de Física

Podem-se utilizar objetos de aprendizagem sob a forma de aplicativos computacionais para apresentar de maneira significativa aos alunos como os objetos podem ter seus registros físicos e matemáticos transformados, seja por operações de tratamentos ou conversões.

Para a implementação de um aplicativo que realize simulações dos fenômenos físicos em um ambiente virtual¹ computadorizado, é necessário verificar as colisões entre corpos e aplicar as leis físicas sobre os objetos. Esses cálculos podem ser realizados por uma biblioteca de funções para esse fim ou um *hardware* dedicado. A primeira opção foi escolhida uma vez que pretende-se que o sistema seja utilizado pelos alunos a distância, em suas residências, como suporte ao estudo presencial, uma vez que é incorporada diretamente ao aplicativo distribuído aos alunos.

2.2.1 Objetos de Aprendizagem

Com a disseminação do *e-learning*, foram oferecidas mais possibilidades para a educação a distância (EaD) a partir do uso de novas ferramentas tecnológicas, incluindo diferentes plataformas de *hardware* e *software*. Gomes, Silveira e Viccari (2004) mostram que a procura por aplicativos computacionais que permitam e auxiliem a evolução da educação a distância não para de crescer. Dentre essas tecnologias, destacam-se os objetos de aprendizagem, definidos como “[...] qualquer entidade, digital ou não digital, que pode ser usada, reusada ou referenciada durante o ensino com suporte tecnológico”² (IEEE, 2002). Para que os objetos de aprendizagem sejam reutilizáveis, é necessário que o seu desenvolvimento preze por sua modularidade:

¹A palavra virtual vem do latim *virtualis*, derivado por sua vez de *virtus*, força, potência. Na filosofia escolástica, é virtual o que existe em potência e não em ato. O virtual tende a atualizar-se, sem ter passado no entanto à concretização efetiva ou formal. A árvore está virtualmente presente na semente. Em termos rigorosamente filosóficos, o virtual não se opõe ao real mas ao atual: virtualidade e atualidade são apenas duas maneiras de ser diferentes. (LÉVY, 1996, p.15)

²Tradução do autor: “[...] any entity, digital or non-digital, which can be used, re-used or referenced during technology supported learning”.

A tecnologia de objetos de aprendizagem baseia-se na hipótese de que é possível criar pequenos ‘pedaços’ de material instrucional e organizá-los de forma a permitir a sua reusabilidade, promovendo economia de tempo e de custo na produção de cursos *on-line*. Para ser reutilizado, um objeto de aprendizagem precisa ser modular, interoperável e ter a capacidade de ser descoberto (GOMES; SILVEIRA; VICCARI, 2004, p. 389).

Vários esforços foram e ainda continuam sendo feitos no sentido de se alcançar estas características. Entretanto, apesar de todos os esforços, os objetos de aprendizagem ainda carecem de aprimoramento. Gomes, Silveira e Viccari (2004, p. 390) mostram que o “[...] tanto de trabalho necessário para o uso de um objeto de aprendizagem leva-nos a acreditar que necessitamos na verdade é de objetos de aprendizagem mais ‘espertos’.”

Uma vez que objetos de aprendizagem vêm sendo desenvolvidos, existe a preocupação da comunidade em disponibilizá-los. Desta maneira, diversos repositórios foram criados com o intuito de compartilhar e melhorar a qualidade desses aplicativos. Dentre esses repositórios, destaca-se o portal Banco Internacional de Objetos Educacionais (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2008), que contempla objetos voltados ao auxílio da aprendizagem desde a educação infantil até o ensino universitário.

A criação e o gerenciamento de um sistema de apoio ao ensino e à aprendizagem de conceitos matemáticos para o curso de engenharia com o auxílio do computador propicia uma análise da integração entre educação, matemática, informática e o ensino de engenharia. A partir dos conceitos de objetos educacionais foram construídos repositórios de objetos de aprendizagem voltados especialmente para o ensino de engenharia. Dentre esses repositórios pode ser citado o NuMeLOs - *Numerical Methods Learning Objects* (SCHEER, 2004b) que é um repositório de objetos educacionais na forma de *applets* voltados para conteúdo específico da Matemática e que utiliza métodos numéricos para solucionar problemas de engenharia. Pode-se citar também o OE3, Objetos Educacionais para Engenharia de Estruturas (SCHEER, 2004a), que é um repositório de objetos educacionais desenvolvidos especificamente para a engenharia de estruturas.

2.2.2 Engines de Física

Para o desenvolvimento de aplicativos que simulem as leis da Física aplicadas aos objetos de um ambiente virtual, pode-se utilizar alguma biblioteca computacional que permita ao programador introduzir os dados referentes às características geométricas dos objetos, bem como sua massa, força aplicada pelo usuário ou presença do campo gravitacional. Essas bibliotecas, denominadas *engines* físicas, possuem a modelagem dos efeitos das Leis de Newton sobre corpos rígidos.

Os corpos rígidos são sólidos ideais de tamanho finito sendo consideradas desprezíveis deformações em sua estrutura, independentemente das forças aplicadas. Esses corpos ocupam lugar no

espaço, podem ser deslocados e girados. A dinâmica dos corpos rígidos pode ser modelada por meio de equações diferenciais que são resolvidas computacionalmente utilizando métodos numéricos que, por serem aproximados, introduzem imprecisão e instabilidade nos valores calculados. O método de solução numérica de equações diferenciais mais simples é conhecido como método de Euler, que é um método de primeira ordem e apresenta menor precisão quando comparado a métodos de ordem superior como, por exemplo, Runge-Kutta de segunda ou quarta ordem (BURDEN; FAIRES, 2003). O método de Euler apresenta um erro pequeno quando o intervalo de cálculo e o passo utilizado são pequenos, sendo que esses parâmetros podem ser definidos nas configurações de diversas *engines*.

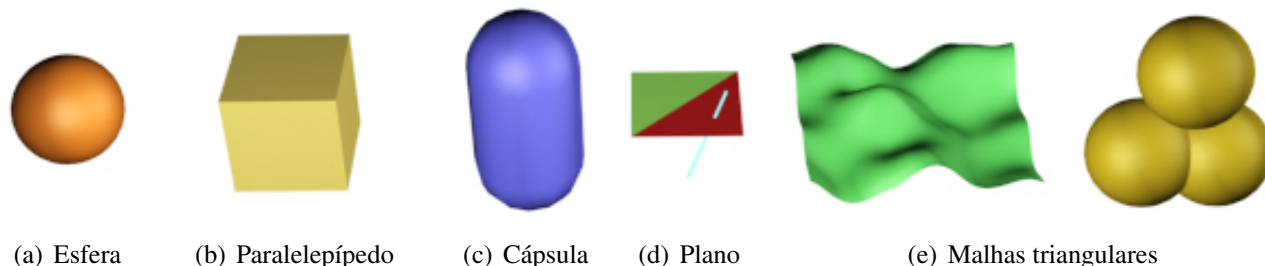
O cálculo da dinâmica de corpos rígidos pode também envolver a determinação da colisão e reação correspondente, entre os objetos considerados sólidos no mesmo sistema. Nesse caso são adicionadas restrições de não-penetração entre os corpos que eventualmente venham a colidir. Essas restrições são criadas por meio de forças calculadas e aplicadas nos pontos de contato entre os corpos.

A *Open Dynamics Engine* (ODE), desenvolvida por Smith (2006), é uma biblioteca de alto desempenho capaz de simular a dinâmica de corpos rígidos, em tempo real. Possui um sistema de detecção de colisão integrado conhecido como OPCODE (*Optimized Collision Detection*) que é outra biblioteca especializada no cálculo de detecção de colisão, desenvolvida por Terdiman (2003).

Como a biblioteca ODE foi desenvolvida para ser utilizada em simulações em tempo real ou aplicativos que permitam a interação com o usuário, foi dada prioridade para algoritmos temporalmente eficientes, porém relativamente estáveis em termos de cálculos. Para garantir maior desempenho de cálculo em situações nas quais muitos corpos rígidos estiverem interagindo, existem algumas simplificações nos algoritmos que podem gerar resultados com menor precisão do ponto de vista físico.

A figura 2.1 mostra os primitivos suportados nativamente pela biblioteca, como: esfera, paralelepípedo, cápsula e plano. Além disso, possui uma estrutura conhecida como malha traingular (*triangle mesh*) que permite utilizar representações de quaisquer objetos complexos utilizando um conjunto de triângulos interligados.

Figura 2.1: Formas geométricas disponíveis na ODE: esfera, paralelepípedo, cápsula, plano e dois exemplos de malhas traingulares modeladas proceduralmente ou com elementos importados de um arquivo criado por um aplicativo gráfico 3D comercial.



Fonte: o autor.

É importante ressaltar que a tonalização dos objetos simulados fisicamente não fica a cargo da biblioteca de Física. Desta maneira, a ODE provê apenas os resultados da simulação que podem ser utilizados para a exibição da cena utilizando qualquer biblioteca gráfica, como a OpenGL (2014).

Além dos primitivos básicos, é possível utilizar uma série de articulações disponíveis na *engine* (esférica, dobradiça, *slider* e universal), em conjunto ou não, com motores que podem aplicar torque nestas articulações. As articulações tornam possível a criação de objetos mais complexos como estruturas robóticas, carros, portas entre outros.

A cada corpo rígido são associados vários parâmetros que podem variar ao longo do tempo, sob o ponto de vista da simulação:

- a) vetor posição (x, y, z) do ponto de referência do corpo, devendo coincidir com a posição do seu centro de massa;
- b) velocidade linear (V_x, V_y, V_z) do ponto de referência do corpo;
- c) orientação do corpo, representado por uma matriz 3x3 ou um quatérnion (Q_s, Q_x, Q_y, Q_z) ;
- d) velocidade angular $(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$ que descreve como a orientação do corpo muda em função do tempo.

O *solver* disponível na biblioteca ODE é de primeira ordem, portanto os resultados são calculados rapidamente, mas com precisão e estabilidade reduzidas. Por exemplo, quando muitos cubos dispostos em uma parede alta, pode-se observar a instabilidade do modelo, em virtude de muitos pontos de contato existentes entre os blocos da parede. Essas oscilações podem, em algumas situações críticas, ocasionar o desmoronamento dessa parede. Mesmo assim, estipulando-se algumas restrições para o tamanho, massa e forças envolvidas nas simulações, a estabilidade de cálculo é mantida na maioria dos casos.

As colisões detectadas na ODE são resolvidas utilizando o modelo de contatos de colisão, de modo que, para cada colisão detectada, são criadas juntas virtuais entre esses pontos de colisão e são aplicadas forças que atuam de forma a separar esses pontos que estão colidindo.

A biblioteca ainda trata a força de atrito utilizando o modelo clássico de Coulomb para cada contato de colisão gerado. É uma relação simples entre as forças normais e tangenciais presentes no ponto de colisão e o coeficiente de atrito. Entretanto, a biblioteca ODE faz uma simplificação e utiliza uma pirâmide de forças de atrito, ao contrário do descrito por Baraff (1989) que utiliza um cone de forças.

Outras características importantes da biblioteca são descritas a seguir:

- a) a massa, a posição do centro de massa e a matriz de momento de inércia do objeto podem ser modificadas;

- b) a biblioteca não está restrita ao uso de nenhuma unidade física, ou seja, os resultados obtidos são condizentes com as unidades estipuladas pelos dados de entrada do modelo e seus parâmetros, definidos pelo usuário;
- c) a reação à colisão detectada entre objetos distintos compostos por malhas triangulares que representam superfícies côncavas ainda não é suportada de forma estável na versão 0.8.14, utilizada neste trabalho;
- d) a biblioteca recomenda que toda a interação com a cena simulada seja realizada a partir da utilização de forças aplicadas nos objetos. A modificação direta de parâmetros, como posição e orientação dos objetos, resulta em instabilidade e falhas no cômputo dos movimentos dos objetos.

2.2.3 Aplicativos de aprendizagem com uso de tecnologia digital

Um problema que existe quanto ao uso de objetos de aprendizagem consiste no fato de que os professores que desejam utilizar algo específico de uma determinada área, normalmente, não possuem habilidades para desenvolver esses aplicativos. O mesmo acontece no sentido oposto: o profissional responsável pelo desenvolvimento do aplicativo pode até conhecer as estruturas, classes e funções de bibliotecas específicas, como por exemplo a ODE, mas terá dificuldades em elaborar um ambiente que seja didaticamente interessante. Deve haver uma interação grande entre os profissionais da educação e de programação, de modo que o escopo do projeto seja bem definido.

Considerando o exemplo da criação de um ambiente virtual para estudos de conceitos físicos, é comum que sejam desenvolvidos dois aplicativos ou duas interfaces: um para o professor criar e outro para os alunos utilizarem (PIRKER, 2013).

O aplicativo ou a interface do professor deve permitir criar e editar diversas situações, acrescentando elementos, fórmulas, teorias. Essa flexibilidade do aplicativo apresenta como vantagem maior liberdade do professor, sem ter que solicitar novos aplicativos à equipe de desenvolvimento. Essa opção foi escolhida para o desenvolvimento desse projeto, permitindo ao professor incluir objetos primitivos, como por exemplo, esferas e paralelepípedos à cena, além de poder importar modelos 3D de aplicativos comerciais, sem ter a necessidade de modelar objetos complexos nesse ambiente.

O aplicativo do professor não representa um objeto de aprendizagem, mas gera um arquivo que pode ser aberto pelo aplicativo dos alunos, permitindo que eles possam, mesmo fora do ambiente acadêmico, utilizar um objeto de aprendizagem sobre Física, de maneira lúdica, aumentando as possibilidades de terem um aprendizado ativo mais significativo, ao usar o controle do videogame.

2.3 *Wii Remote*

Durante a *Tokyo Game Show*, em 2005, a *Nintendo* apresentou ao público seu lançamento para o mercado de entretenimento, o videogame *Nintendo Wii* (CESA, 2005).

O diferencial da *Nintendo* foi a forma de interação do usuário com os jogos. Ao invés de utilizar um *joystick* convencional, somente com botões direcionais e botões de ação, o *design* do controle permitiu ao usuário manipular os atores dos jogos utilizando apenas uma mão, uma vez que foi incorporado ao *hardware* um acelerômetro que permite captar os movimentos do controle no espaço.

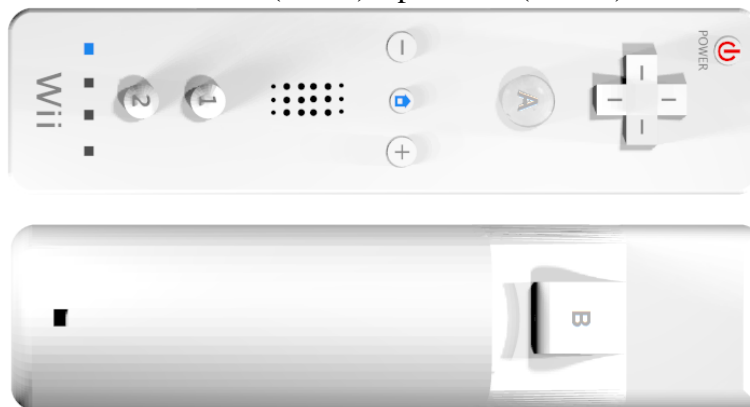
2.3.1 Características técnicas

Segue-se uma descrição breve das características do *Wii Remote* utilizado neste projeto de pesquisa.

Botões de ação

Existem botões digitais que podem ser utilizados para realizar funções distintas em cada jogo. Embora o usuário possa utilizar o controle com uma ou duas mãos, dependendo do jogo, para esse projeto será considerado o uso com apenas uma mão, fazendo com que o usuário utilize o dedo polegar para acessar os botões da parte frontal e o indicador para o botão da parte posterior. A figura 2.2 mostra a vista frontal e posterior do controle. O usuário pode utilizar o dedo polegar para acionar o botão **Power**, a cruz direcional, os botões **Home**, **1** e **2**, **+**, **-** e **A**. O acesso ao botão **B**, atrás do controle, é feito com o dedo indicador, como se acionando um gatilho.

Figura 2.2: Vistas frontal (acima) e posterior (abaixo) do *Wii Remote*.

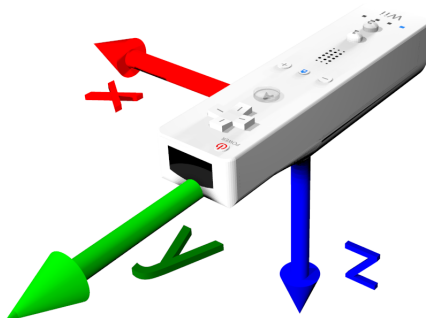


Fonte: o autor.

Acelerômetro

Sob o ponto de vista técnico, o controle é dotado de um acelerômetro ADXL330, fabricado pela Analog Devices (2007), que permite medir acelerações entre $-3g$ e $+3g$ (sendo g o valor da aceleração da gravidade), em três direções ortogonais, como mostrado na figura 2.3.

Figura 2.3: Representação das direções das componentes da aceleração medidas pelo acelerômetro e enviadas ao programa. Deve-se notar que a base representadas pelos eixos corresponde ao sistema levógiro.



Fonte: o autor.

Câmera infravermelha

O controle ainda possui uma câmera monocromática com resolução de 128×96 pixels, com processamento interno permite analisar conjuntos de 8×8 subpixels, resultando em uma imagem de 1024×768 pontos de resolução. O campo de visão horizontal é de 41° e o vertical 31° .

Há um filtro que permite que apenas os comprimentos de luz no espectro infravermelho emitida pelos conjuntos de LEDs infravermelhos da *WiiBar*, seja captada pela câmera. A *WiiBar* é, normalmente, disposta sobre a televisão e possui dois grupos com cinco LEDs infravermelhos, cujos centros dos grupos se distanciam 20 cm. Desta maneira, é possível obter a rotação do controle em relação ao eixo da profundidade da câmera. Embora a imagem captada possua 1024×768 elementos, somente são transmitidas as informações referentes aos quatro pontos detectados (se forem utilizadas duas *WiiBar*), como localização na imagem, intensidade e tamanho.

Vibração

O *Wii Remote* possui um pequeno motor com uma massa desbalanceada. Isso permite gerar uma pequena vibração no controle. Essas vibrações são utilizadas pelos desenvolvedores dos jogos como um *feedback* háptico ao jogador, informado que houve algum tipo de colisão do cursor ou do ator manipulado.

Áudio

Além do *feedback* háptico, o controle possui um auto-falante piezoelétrico de 21 mm utilizado para emitir sons por curtos períodos. Além disso, possui um modulador ADPCM (*Adaptive Differential Pulse-Code Modulation*) de 4 bits fabricado pela Yamaha que também opera como um PCM de 8 bits, mas com uma qualidade de som muito baixa.

Transmissão de dados

O controle *Wii Remote* pode estabelecer comunicação com um *host*, seja o console *Nintendo Wii* ou um computador, utilizando o protocolo *Bluetooth*. Para tal, foi incorporado um circuito integrado BCM2042, fabricado pela Broadcom, desenvolvido especificamente para ser utilizado em dispositivos de interface homem máquina HID, como teclados e *mice* sem fio.

Através da conexão *Bluetooth* o controle envia ao *host* os dados do acelerômetro e das coordenadas dos LEDs, bem como o valor medido da carga da bateria. Por sua vez, o *host* envia para o controle as instruções de configuração de seus periféricos, como o sistema de vibração, áudio e LEDs do *Wii Remote*, que podem, por exemplo, indicar a carga da bateria.

Ao observar as características técnicas, funcionalidades e limitações do *Wii Remote*, foi ponderado o custo e o benefício e, após uma série de testes preliminares, verificou-se que os resultados eram satisfatórios para se investir no desenvolvimento do projeto utilizando o *Wii Remote* como controle para um cursor 3D em ambiente virtual.

2.3.2 Trabalhos correlatos

Esta seção apresenta alguns trabalhos que utilizam as mais diversas abordagens para desenvolver ambientes virtuais que permitam aos alunos fazerem interações com os objetos das cenas com intuito de complementar o aprendizado visto em aula.

Breisinger et al. (2006) apresentam em seu trabalho o ambiente LEMMA (*Learning Environment with Multi-Media Augmentations*) que permite ao professor criar um tutorial para que o aluno possa navegar em uma interface 2D onde são apresentadas informações teóricas, com imagens e fórmulas, além da 3D que permite ao aluno interagir com os objetos. A interação pode ser feita usando o *mouse* tradicional e até mesmo uma *Data Glove*.

O fator lúdico pode ser explorado como mostram Squire et al. (2004). Eles desenvolveram um jogo de labirintos eletromagnéticos, em que o aluno deve posicionar algumas partículas carregadas (positivas, negativas, neutras ou dipolos) no ambiente 3D e liberar uma nave cuja trajetória é definida pelo campo criado pelas cargas.

Figura 2.4: Sistema LEMMA sendo utilizado com dois monitores como dispositivo de saída e uma *Data Glove* como dispositivo de entrada de dados.



Fonte: (BREISINGER et al., 2006, p. 3).

Esses ambientes de ensino podem ser desenvolvidos utilizando a realidade aumentada, como mostra o trabalho de Rehman, Ullah e Rabbi (2014) ao apresentarem o *Virtual Reality Training System*, que utiliza a biblioteca ARToolKit. Essa biblioteca localiza padrões nos *frames* capturados por uma câmera, que são figuras simples impressas em preto e branco em cartões que podem ser posicionados livremente. A ARToolKit permite criar elementos na cena que terão o comportamento definido pelos padrões. Por exemplo, na figura 2.5 existe o cartão que contém a peça vermelha e os cartões com as peças azuis. O comportamento da peça vermelha é ser derrubada automaticamente, enquanto que as azuis somente serão movimentadas se acontecer alguma colisão com outra peça.

Figura 2.5: Imagem gerada pela composição do vídeo de uma câmera com a sobreposição de modelos 3D utilizando a biblioteca ARToolKit.



Fonte: (PARIS, 2010).

Os laboratórios virtuais têm sido reconhecidos como importantes aliados no processo de ensino

de Física, despertando interesse nos alunos.

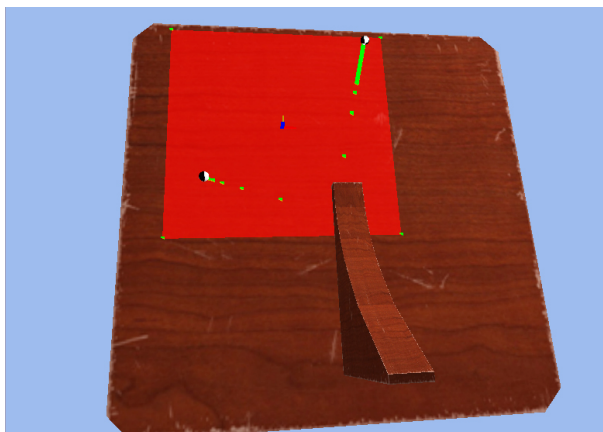
A experiência presencial e os dados obtidos em nossa avaliação indicam que as aulas no Laboratório Virtual de Física incrementaram o interesse dos alunos pela disciplina, na busca da compreensão dos experimentos, conceitos, interpretação gráfica, mudança de variáveis, levantamento de hipóteses e estímulo à pesquisa (SILVA; BARRETO, 2011).

Esse tipo de ferramenta não deve ser considerado como único, mas um complemento à prática do laboratório presencial. A repetibilidade de experimentos realizados em laboratório presencial podem ajudar ao processo iterativo de construção e melhoria dos significados dos conceitos apresentados nas simulações. É claro que o laboratório virtual pode contemplar situações impraticáveis nos experimentos presenciais, como por exemplo, pela falta de recursos ou equipamentos do laboratório, falta de tempo de aula para realizar mais medições, alterando algum parâmetro, entre outros.

[...] a animação interativa possibilite uma experiência empírica concreta, nas minhas abordagens em sala de aula, considero que as animações interativas sirvam de importante aliado nas aulas de Física, porém, acredito que as atividades empíricas não podem ser substituídas pelas virtuais e sim que ambas complementam-se num espectro contínuo (HOHENFELD; PENIDO, 2000).

O exemplo apresentado na figura 2.6 mostra o ambiente de um laboratório virtual para o ensino de Física, criado por Frustaci, Dobroff e Scalco (2007), que possui uma base e uma rampa de onde uma esfera rola até se chocar com outra esfera na parte de baixo da rampa. Os pontos que as esferas tocam a base são destacados em verde e o aluno pode fazer as medições para comparar com os resultados do mesmo experimento realizado em aula presencial.

Figura 2.6: Simulação do experimento sobre colisões bidimensionais em um laboratório virtual de Física.

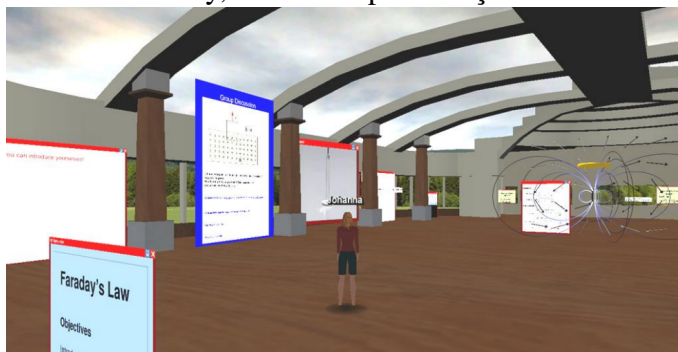


Fonte: (FRUSTACI; DOBROFF; SCALCO, 2007, p. 42).

O trabalho de Pirker (2013) utiliza como ambiente de desenvolvimento o Open Wonderland (2010) que dá ao usuário uma experiência visual de um jogo em que o aluno controla um avatar

por um mundo virtual. Esse mundo virtual pode conter painéis para a apresentação das teorias, vídeos e *sites*, além de permitir ao usuário interagir com elementos tridimensionais. A figura 2.7 mostra uma sala criada para o ensino da Lei de Faraday.

Figura 2.7: Ambiente de ensino desenvolvido na plataforma Open Wonderland com painéis que trazem informações sobre a Lei de Faraday, além da representação 3D de um experimento.

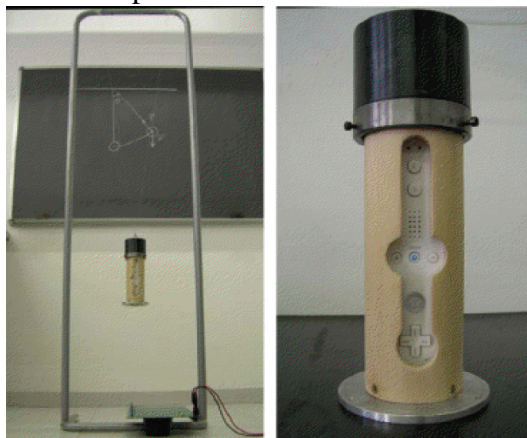


Fonte: (PIRKER, 2013, p. 70) com tradução do autor.

Desde o lançamento do *Nintendo Wii* para jogos em 2006, o seu controlador *Wii Remote* tem chamado atenção pelos tipos de interações que ele proporciona. Com um acelerômetro e uma câmera provida de filtro de sinais infra-vermelhos embutidos, o *Wii Remote* tem sido aplicado como um instrumento de medição em diversos experimentos relacionados à Física (ABELLÁN et al., 2013).

Vannoni e Straulino (2007) o utilizam como o pêndulo simples. A figura 2.8 mostra a estrutura desenvolvida para essa experiência, bem como a cápsula para armazenar o controle. Nesse teste, ao soltar a cápsula, foram transmitidas as acelerações medidas, bem como a posição de um LED infravermelho fixo na base da estrutura.

Figura 2.8: Montagem para realizar a experiência de um pêndulo simples, utilizando o acelerômetro do *Wii Remote* para coletar dados do experimento.

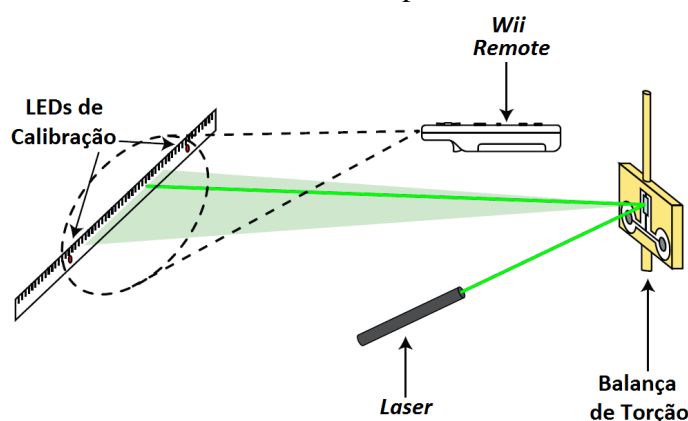


Fonte: (VANNONI; STRAULINO, 2007).

De maneira análoga, Rooney e Somers (2010) utilizam o controle sobre uma mesa giratória e relaciona a aceleração centrípeta com a distância do controle até o centro de rotação da mesa, permitindo aos alunos verificarem graficamente, no computador, o comportamento das grandezas envolvidas no movimento circular uniforme.

Outro exemplo é a proposta de Tomarken et al. (2012) que utilizam a câmera do *Wii Remote* para fazer a leitura do reflexo de um *laser* na parede. A figura 2.9 mostra a luz do *laser* passando por um espelho em uma balança de torção na montagem do experimento de Cavendish, utilizado para medir a constante de gravitação universal G , a partir do período de oscilação da luz na parede.

Figura 2.9: Diagrama da montagem do experimento de Cavendish com a câmera do *Wii Remote* utilizada para ler o movimento da luz refletida sobre a parede.



Fonte: (TOMARKEN et al., 2012).

O uso do controle em aplicações de Física não se limita à instrumentação em laboratórios. A proposta de Tsapanidou (2009) mostra que o *Wii Remote* pode ser utilizado em conjunto com uma biblioteca de representação gráfica tridimensional, como a OpenGL, e uma biblioteca de simulação de fenômenos físicos, como a ODE.

Com o *Wii Remote* os movimentos da mão do usuário podem ser obtidos a partir de integrações numéricas das acelerações medidas em três direções por um acelerômetro integrado ao controle. Além disso, as acelerações podem ser utilizadas em conjunto com os dados da câmera integrada que capta a posição dos LEDs do acessório *WiiBar* para calcular os ângulos de rotação do controle. Dessa maneira, um editor tridimensional foi desenvolvido, permitindo que o usuário possa interagir com os objetos sujeitos à gravidade e as colisões entre os elementos que compõem a cena.

A proposta apresentada por Venkatesh e Saini (2007) utiliza um ambiente tridimensional para um jogo de tênis de mesa que, além de apresentar os dados graficamente ao usuário, registra esses dados em arquivos para que possam ser analisados, visando aplicar o *feedback* entre o movimento desejado pelo usuário e o, de fato, registrado. Dessa maneira, é possível melhorar o modelo matemático da

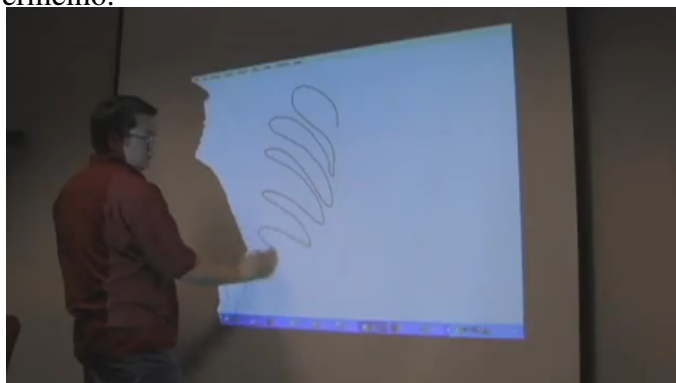
interface, determinando as características de filtros que eliminem eventuais ruídos transmitidos com os dados.

Considerando as informações obtidas do movimento com seis graus de liberdade da mão do usuário, associado a facilidade da transmissão de dados e ao baixo custo (da ordem de US\$ 20,00 a US\$ 30,00), surgiram diversos outros usos para o controle, desde a criação de jogos bidimensionais para computador até a simulação de ambientes para controle da fisioterapia em reabilitação (DIAS; SAM-PAIO; TADDEO, 2009).

Projetos como um quadro branco digital foram propostos, fazendo o uso da câmera infravermelha do *Wii Remote* para captar os movimentos que o usuário faz com um LED colocado na ponta de uma caneta, que emite frequências compatíveis às captadas pelo sensor, como se estivesse escrevendo sobre a projeção. Uma vez que a posição do LED é captada, a informação é enviada para o computador, utilizando a transmissão *Bluetooth*, que sobrepõe o desenho feito à projeção original (LEE, 2008).

Na figura 2.10, quando é acionado o LED infravermelho posicionado na mão do palestrante, a câmera infravermelha do controle determina a posição do LED e a transmite para o computador. Os acelerômetros não são utilizados, pois o controle está apoiado sobre uma mesa (não visível na imagem).

Figura 2.10: Quadro branco digital usando a câmera do *Wii Remote* para coletar a posição de uma caneta com LED infravermelho.



Fonte: (LEE, 2008, p. 43).

O *site*³ de projetos de Lee possibilitou que muitos outros projetos fossem desenvolvidos, como é o caso de Schreiber, Wilamowitz-Moellendorff e Bruder (2009) que complementaram o trabalho do quadro branco, melhorando o projeto da caneta com o LED infravermelho e acrescentando a leitura de gestos (para abrir menus, avançar o eslaide de uma apresentação etc.) que o usuário pode fazer além da escrita sobre a imagem.

³<http://www.johnnylee.net/projects/wii>

Capítulo 3

Metodologia para análise de dados

Este capítulo apresenta as técnicas que foram utilizadas para a coleta de dados e a análise dos resultados obtidos no decorrer do projeto relatado neste trabalho.

Inicialmente será apresentada uma técnica para desenvolver questões que permitam aos respondentes expressar sua opinião sobre determinado tema, mesmo que de maneira subjetiva, e quantificar essas respostas para análise estatística.

Além disso, serão apresentados os principais conceitos e técnicas de estatística descritiva e analítica que são utilizados como ferramenta para comparação de grandezas medidas pelo *Wii Remote*, análise das opiniões dos usuários sobre o que foi proposto neste projeto e a análise da evolução que os alunos tiveram sobre os conceitos de Física que foram explorados nas simulações.

Por fim, são apresentados os conceitos e o método para a determinação da curva de aprendizagem característica de uma tarefa.

3.1 Coleta de dados

Rensis Likert apresentou uma técnica para quantificar atitudes sociais de indivíduos que expressaram suas opiniões ao responderem questionários sobre temas polêmicos da época (LIKERT, 1932, p. 7). Esses questionários devem possuir perguntas diretas e objetivas. As alternativas podem ser três, no caso de perguntas cuja resposta seguem o padrão: “Sim”, “?” ou “Não”. Entretanto, é comum que sejam utilizadas cinco alternativas que possam contemplar a opinião do indivíduo sobre o assunto (nesse caso, a alternativa que representa a dúvida não deve ser disponibilizada).

Considerando o modelo com cinco alternativas, a análise dos resultados consiste em atribuir valores de 1 a 5 a cada uma das posições da escala. O valor 1 deve ser atribuído ao primeiro item, enquanto que o valor 5 para o último item. Após a atribuição de valores para os itens respondidos, a pontuação para cada indivíduo é determinada pela média dos valores numéricos das posições assina-

ladas (LIKERT, 1932, p. 25-26). Assim, esse valor médio obtido representa, em uma escala de 1 a 5, a tendência do indivíduo dentre as opções apresentadas.

Esse modelo de questões foi utilizado para verificar a opinião dos usuários sobre a aceitabilidade e a usabilidade do controle *Wii Remote* como manipulador do cursor 3D.

3.2 Técnicas de Análises Estatísticas

Esta seção apresenta alguns conceitos utilizados neste trabalho para quantificar e analisar diversas métricas obtidas, como por exemplo, as opiniões e desempenho dos usuários, medidas dos sensores entre outras.

3.2.1 Regressão linear

Em algumas situações é necessário determinar um modelo que se ajusta a valores obtidos experimentalmente. Antes de utilizá-la deve-se verificar por um diagrama de dispersão dos valores amostrados se possuem um comportamento que se aproxima do linear para a aplicação da técnica, entretanto, caso a distribuição das amostras não seja linear devem ser linearizados considerando o seu padrão de comportamento.

Essa técnica analisa os valores de x_i e y_i de n amostras observadas e permite determinar um modelo que corresponde a uma equação do primeiro grau $y_{aj} = a_0 + a_1 \cdot x$. Burden e Faires (2003, p. 424) utilizam as equações (3.1) e (3.2) para determinar, respectivamente, os coeficientes linear a_0 e angular a_1 da reta:

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (3.1)$$

$$a_1 = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}. \quad (3.2)$$

O cálculo do coeficiente de determinação representa um indicador de qualidade do modelo calculado e seu valor pertencente ao intervalo $[0; 1]$. Quanto mais próximo o valor for da unidade, melhor é o modelo matemático que descreve os pontos amostrados. Esse coeficiente pode ser calculado pela equação (3.3).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y} - y_{aj_i})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_{aj})^2} \quad (3.3)$$

Sabe-se que $\bar{y}$ representa a média dos valores amostrais y_i e que $\bar{y}_{aj}$ é a média dos valores y_{aj_i} , calculados pela expressão $y_{aj_i} = a_0 + a_1 \cdot x_i$.

Essa técnica será utilizada para analisar os resultados das grandezas que podem ser medidas diretamente com o *Wii Remote*, bem como a determinação dos parâmetros característicos da curva de aprendizagem, apresentada na seção 3.3.

3.2.2 Estatística descritiva

Esta seção apresenta uma breve introdução aos conceitos e métricas utilizados para descrever as características da concentração e variabilidade dos dados obtidos ao longo deste trabalho. Dentre as medidas utilizadas como resumo para caracterização das variáveis, foram utilizadas a média, como medida de posição (ANDERSON; SWEENEY; WILLIAMS, 2003, p. 81), além do desvio padrão e o erro padrão, como medidas de dispersão, para analisar amostras de tamanho n .

A principal medida de posição dos dados amostrados é a média $\bar{x}$, que representa dentro do espaço amostrado, a tendência do local em que existe maior concentração dos dados de uma distribuição. Pode ser calculada pelo somatório dos valores amostrados, dividido pelo tamanho da amostra, como apresentado na equação (3.4).

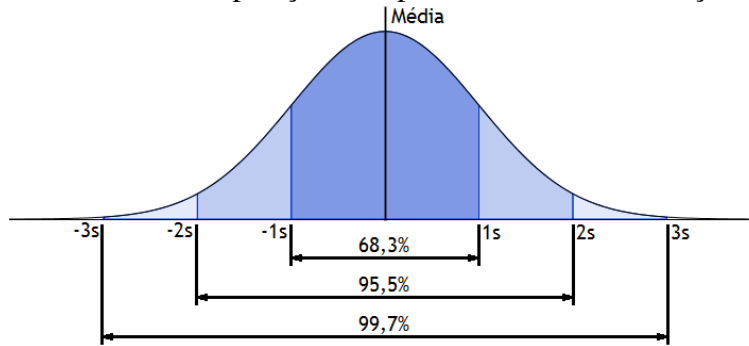
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.4)$$

Em algumas situações não basta apenas determinar a posição da concentração dos dados no espaço amostral, mas pode-se utilizar o desvio padrão s para verificar o quanto de variação ou dispersão existe em relação à média (DORIA FILHO, 1999, p. 32). Anderson, Sweeney e Williams (2003, p. 91) mostram que o desvio padrão pode ser calculado pela equação (3.5).

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3.5)$$

A distribuição mais importante dos valores amostrados é a **distribuição normal** que é descritível por seus parâmetros de média e desvio padrão. A figura 3.1 mostra que os valores que estão a menos de um desvio padrão da média representam cerca de 68,3% do conjunto das amostras, enquanto a menos de dois desvios padrões corresponde a 95,5% e a três desvios, cerca de 99,7%.

Figura 3.1: Medidas de posição e dispersão sobre a distribuição normal.



Fonte: (DORIA FILHO, 1999, p. 43) .

Doria Filho (1999, p. 35) mostra que o erro padrão é outra medida de variabilidade e define o quanto a média pode variar quando feitas as análises de diversas amostragens. Pode ser calculada pela relação entre o desvio padrão e a raiz quadrada do tamanho da amostra conforme a equação (3.6).

$$EP = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3.6)$$

Graficamente, é usual serem representados por barras verticais no gráfico de dispersão de médias para auxiliar na inspeção visual desse diagrama. Assim, pode-se verificar se a faixa de variação das médias são distintas entre os grupos analisados.

Deve-se ressaltar que o desvio padrão indica a dispersão dos dados em torno da média, enquanto o erro padrão representa a variabilidade da média de uma amostra para outra, mesmo com tamanhos diferentes de amostras (DORIA FILHO, 1999, p. 38).

Tamanho de efeito

Lindenau e Guimarães (2012) mostram que tamanho de efeito d é um índice da estatística descritiva que independe do tamanho da amostra e pode ser utilizado como complemento aos diversos testes de significância estatística que serão apresentados na seção 3.2.3. O tamanho de efeito é utilizado na comparação de efeitos em um único estudo, entre variáveis que foram medidas em escalas diferentes ou em metanálises (situações em que as unidades experimentais não são diretamente comparáveis) (LINDENAU; GUIMARÃES, 2012, p. 363).

A partir de duas amostras de tamanho n_1 e n_2 , com médias $\bar{x}_1$ e $\bar{x}_2$ e desvios padrão s_1 e s_2 , Cohen (1988) propôs a equação (3.7) que calcula o índice d como a relação entre a diferença das médias desses dois grupos e o desvio padrão agrupado.

$$d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1-1) \cdot s_1^2 + (n_2-1) \cdot s_2^2}{n_1+n_2-2}}} \quad (3.7)$$

Dessa maneira, o índice d é normalizado em função do desvio padrão e seu valor, normalmente, pertence ao intervalo $] -3; 3[$, entretanto, por convenção, é adotado o seu valor absoluto, considerando $\bar{x}_1 > \bar{x}_2$ durante o cálculo (COHEN, 1988, p. 276). Caso mais do que dois grupos estejam sendo analisados, deve-se considerar apenas os grupos com a maior e menor média. O quadro 3.1 apresenta essa classificação para descrever o tamanho do efeito.

Quadro 3.1: Classificação do tamanho do efeito.

Índice d	Tamanho do efeito
$d < 0,2$	pequeno
$0,2 \leq d < 0,8$	moderado
$d \geq 0,8$	grande

Fonte: (COHEN, 1988).

Ao se manter todas as demais variáveis iguais, quanto maior o tamanho de efeito calculado, maior é o fato da principal variável do estudo representar uma contribuição para o problema analisado. Lindenau e Guimarães (2012, p. 376) discutem que o objetivo de informar o tamanho de efeito consiste em auxiliar o leitor sobre um melhor entendimento da importância do resultado obtido em uma análise.

3.2.3 Estatística analítica

Neste trabalho as análises de usabilidade dos recursos propostos serão conduzidas por meio de evidências fornecidas por amostras de dados e técnicas de inferência estatística que foram aplicadas. As técnicas utilizadas permitem utilizar a teoria das probabilidades para determinar o risco ao se assumir determinada conclusão (ANDERSON; SWEENEY; WILLIAMS, 2003, p. 71).

Cabe definir o termo p-valor como sendo a probabilidade de se encontrar diferenças entre as médias de diversas amostras quando comparadas, “[...] isto é, a chance de, por mero acaso, dentre todas as amostras, sortear justamente as amostras equivalentes” (DORIA FILHO, 1999, p. 72). Esse valor está definido no intervalo $[0; 1]$.

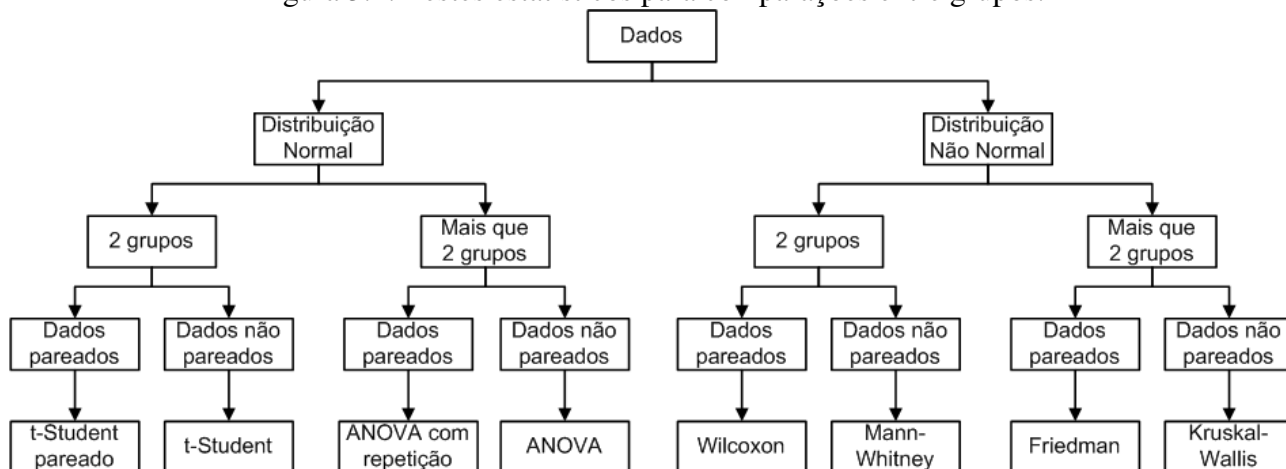
Assim, ao se comparar duas ou mais amostras é definida uma hipótese (denominada hipótese nula H_0) que conjectura o fato de não existir diferença entre as amostras dos grupos estudados, dentro de um nível de significância desejado.

Neste trabalho, a hipótese H_0 adotada para a maioria dos testes consiste em que as médias das amostras analisadas são iguais, ou seja, os grupos apresentam as mesmas características para o nível de significância $\alpha = 5\%$, assim, nos testes de comparação em que $p\text{-valor} \leq 0,05$ não será rejeitada a hipótese H_0 . Para o teste de McNemar a hipótese H_0 verifica se a frequência das respostas corretas aumenta da primeira para a segunda amostra. Doria Filho (1999, p. 72) ressalta que “um valor de p não significativo não implica em que a hipótese nula seja verdadeira, mas tão somente em que as evidências disponíveis não são suficientes para rejeitá-la”.

Em algumas situações deseja-se verificar se existe diferença entre os resultados de duas amostras geradas por um mesmo grupo, mas em ocorrências distintas, ou seja, pode ser utilizado para verificar o quanto um fator que foi apresentado ao grupo pode influenciar nos resultados subsequentes. Nesse caso, é dito que os dados são pareados.

O diagrama da figura 3.2 mostra qual teste estatístico deve ser escolhido de acordo com o número de grupos que serão comparados, o padrão da distribuição dos dados nos grupos (para os dados com comportamento gaussiano, são aplicados testes paramétricos e para dados que não possuam esse padrão, os testes não paramétricos) e se grupos são pareados ou não. Alguns desses testes foram utilizados neste trabalho e serão descritos a seguir.

Figura 3.2: Testes estatísticos para comparações entre grupos.



Fonte: o autor, combinando os diagramas de Doria Filho (1999, p. 106, p. 112) .

Existem diversos aplicativos, pagos e gratuitos, que permitem fazer a comparação entre amostras utilizando esses testes. Neste trabalho, foi utilizado o Action¹, desenvolvido sob a plataforma gratuita R e que pode ser instalado como um suplemento do Microsoft Excel. Esses aplicativos irão aplicar seus procedimentos para calcular os testes, cabendo ao pesquisador julgar se os dados satisfazem às condições do teste escolhido. Essas condições são discutidas na descrição dos testes a seguir.

¹<http://www.portaction.com.br>

Posto de uma observação

O posto de uma observação é constituído do número de ordem da observação, com as amostras previamente ordenadas (SHIMAKURA, 2012, p. 101). Normalmente são valores inteiros sequenciais, entretanto, caso haja alguma observação que se repita, os postos dessas observações são a média dos postos definidos para a amostra antecessora e sucessora desses elementos. Alguns dos métodos que serão apresentados nesta seção utilizam o posto das observações em seus procedimentos.

Teste *t-Student*

Esse teste é utilizado para comparar duas amostras contínuas e com distribuição gaussiana (DORIA FILHO, 1999, p. 91), ou seja, o teste é paramétrico. A equação (3.8) mostra o cálculo da estatística t do teste considerando as médias de duas amostras A e B de mesmo tamanho.

$$t = \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{EP} \quad (3.8)$$

O valor da estatística t calculado deve ser comparado com um valor crítico t_C , obtido em uma tabela da distribuição t , em função do nível de significância α desejado e dos graus de liberdade $n - 1$ da amostra. Caso $t < t_C$ a hipótese H_0 não é rejeitada.

Esse teste será o mais utilizado para tratar os dados analisados neste projeto, desde comparações referentes ao nível de experiência do usuário até a verificação do ganho do aprendizado com o uso da ferramenta desenvolvida e testada pelos alunos.

Teste de Wilcoxon

O teste de Wilcoxon é utilizado para comparar duas amostras pareadas, obtidas em instantes diferentes (DORIA FILHO, 1999, p. 107). É utilizado do mesmo modo que o teste *t-Student*, entretanto, por ser um teste não paramétrico, não há necessidade de que os dados possuam distribuição normal.

Shimakura (2012, p. 102) mostra que devem ser calculadas as diferenças entre as n observações de cada par observado, considerar os valores absolutos dessas diferenças, atribuir postos a cada valor calculado e calcular a soma dos postos S de todas as diferenças negativas ou positivas. A equação (3.9) mostra o cálculo da estatística Z , que representa o ponto de corte da curva gaussiana e está diretamente relacionada ao p-valor, que constitui a área limitada pela curva normal e pelo ponto de corte Z .

$$Z = \frac{S - \frac{n \cdot (n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n \cdot (n+1) \cdot (2 \cdot n+1)}{24}}} \quad (3.9)$$

Neste trabalho, o teste de Wilcoxon é utilizado para comparar as médias de dois questionários com escalas de pontuação distintas, sendo que um possui quatro questões e o outro nove.

Teste de Mann-Whitney

Assim como o teste de Wilcoxon, o teste Mann-Whitney não é paramétrico e pode ser utilizado como alternativa ao teste *t-Student* nas situações em que as amostras sejam independentes (dados não pareados) e não possuam um comportamento gaussiano (DORIA FILHO, 1999, p. 108).

Shimakura (2012) mostra que para o cálculo do teste de Mann-Whitney deve ser considerado que o menor grupo possui n_1 amostras enquanto que o maior possui n_2 amostras. Os dados devem ser agrupados e calculado o posto dessas observações. Em seguida calcula-se o valor T que representa a soma dos postos do menor grupo. A equação (3.10) mostra o cálculo da estatística MW :

$$MW = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - T \quad (3.10)$$

Esse valor MW deve ser comparado com o ponto de corte da curva gaussiana Z , descrito pela equação (3.11). Caso $MW < Z$ a hipótese H_0 não é rejeitada.

$$Z = \frac{T - \frac{n_1 \cdot (n_1 + n_2 + 1)}{2}}{\sqrt{\frac{n_2 \cdot n_1 \cdot (n_1 + n_2 + 1)}{12}}} \quad (3.11)$$

Esse teste será aplicado em diversas análises realizadas nas respostas das opiniões dos usuários que experimentaram a ferramenta e expressaram suas opiniões sobre o grau de dificuldade das tarefas realizadas.

Análise de variância

A análise de variância (ANOVA) é utilizada para comparar uma variável quantitativa entre três ou mais grupos (ANDERSON; SWEENEY; WILLIAMS, 2003, p. 383). Isso evita ter que realizar vários testes *t-Student* para cada par de amostras (DORIA FILHO, 1999, p. 119).

Anderson, Sweeney e Williams (2003, p. 384) mostram que esse teste deve ser aplicado nas situações em que:

- a) as amostras são aleatórias e independentes;
- b) as populações têm distribuição normal (teste paramétrico);
- c) as variâncias populacionais são iguais.

Será considerado que k grupos que serão comparados, cada qual com $n_1, n_2, \dots, n_k$ amostras, sendo que suas médias são, $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_k$, respectivamente. Assim, existem n amostras ao total, identificadas por x_{ij} (amostra i do grupo j). A média de todas as n amostras é representada por $\bar{\bar{X}}$.

O quadro 3.2 mostra como calcular F da ANOVA, ressaltando que devem ser consideradas:

- variação total (SQT):** corresponde à dispersão de cada amostra x_{ij} em relação à média total das amostras $\bar{\bar{X}}$;
- variação entre grupos (STE):** corresponde à dispersão entre os grupos, considerando a variação da média $\bar{X}_j$ de cada grupo em relação à média global $\bar{\bar{X}}$;
- variação dentro dos grupos (SQD):** corresponde à dispersão de cada amostra x_{ij} em relação à média $\bar{X}_j$ seu grupo;

Quadro 3.2: Cálculo da estatística F da ANOVA.

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado da média	F
Entre grupos	$SQE = \sum_{j=1}^k n_j (\bar{X}_j - \bar{\bar{X}})^2$	$k - 1$	$MQE = \frac{SQE}{k-1}$	$F = \frac{MQE}{MQD}$
Dentro dos grupos	$SQD = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{X}_j)^2$	$n - k$	$MQD = \frac{SQD}{n-k}$	
Total	$SQT = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{\bar{X}})^2$	$n - 1$		

Fonte: (ANDERSON; SWEENEY; WILLIAMS, 2003, p. 391).

Assim como no teste *t-Student*, o valor obtido deve ser comparado a um valor crítico F_C que pode ser obtido em uma tabela de distribuição F , em função dos graus de liberdade apresentados no quadro 3.2. Caso $F < F_C$ a hipótese H_0 não é rejeitada.

A análise de variância foi utilizada para comparar diversas variáveis de estudo da movimentação do cursor 3D a partir das opiniões dos usuários classificados em três grupos, de acordo com o seu grau de experiência com tecnologia 3D. Além disso, foi utilizada para avaliar se o desempenho dos voluntários sobre os tópicos de Física têm influência da resposta háptica.

Teste de Kruskal-Wallis

Doria Filho (1999, p. 114) apresenta o teste de Kruskal-Wallis como uma alternativa ao teste ANOVA nas situações em que as amostras de três ou mais grupos sejam independentes, ou seja, os dados não são pareados, e não possuam um comportamento gaussiano (teste não paramétrico).

Esse teste foi utilizado para comparar diversas variáveis de estudo da movimentação do cursor 3D a partir das opiniões dos usuários classificados em três grupos, de acordo com o seu grau de experiência com tecnologia 3D.

Teste de McNemar

Diferente dos testes de comparação entre grupos da figura 3.2 apresentados, o teste de McNemar verifica se as frequências que ocorrem em duas amostras pareadas estão relacionadas (DORIA FILHO, 1999, p. 104). É necessário um universo de pelo menos 25 amostras. Normalmente é utilizado para verificar a evolução de uma métrica que ocorre antes e depois da inclusão de um fator que está sendo estudado.

Neste trabalho, o teste foi utilizado para verificar se o número de acertos de um questionário aplicado antes e depois dos alunos utilizarem o ambiente proposto teve evolução significativa.

3.3 Curva de Aprendizagem

Theodore Paul Wright observou que o tempo necessário para a produção de aviões reduzia a uma taxa constante a cada vez que a produção dobrava. No caso observado, o tempo para produzir a segunda aeronave era 80% do tempo da primeira, enquanto que o tempo para produzir a quarta era 80% da segunda e assim por diante. Esse valor representa o percentual característico p da curva (ANZANELLO; FOGLIATTO, 2007).

A partir dessas observações, Wright propôs um modelo potencial em 1936, que tornou-se referência para os outros modelos de curvas de aprendizagem de trabalhadores que realizam tarefas repetidas vezes. Este modelo é expresso por:

$$y = C_1 \cdot x^b, \quad (3.12)$$

sendo y o tempo ou custo médio por unidade para a produção de x unidades. A constante C_1 é o tempo ou custo para a produção da primeira unidade, enquanto que a declividade da curva de aprendizado b representa a taxa de aprendizado média de trabalhadores que realizam determinada tarefa repetidas vezes e seu valor pertence ao intervalo $[-1; 0[$ (CHASE; AQUILANO; JACOBS, 2006). Quanto mais distante de zero, mais elevado é o percentual p de aprendizado da tarefa. Isso permite determinar a velocidade que os usuários terão em aprender a controlar o cursor 3D com o *Wii Remote*. A equação (3.13) mostra a relação entre a declividade e o percentual característico da curva.

$$b = \frac{\ln(p)}{\ln(2)} = \log_2(p) = \lg(p) \quad (3.13)$$

A declividade da curva b , e consequentemente o percentual característico p , pode ser obtida utilizando técnicas de regressão não linear a partir dos dados observados. Além disso, para determinar a qualidade do ajuste, será necessário calcular o coeficiente de determinação R^2 a partir da linearização da equação (3.12) (BURDEN; FAIRES, 2003, p. 429). Dessa maneira, deve ser realizado um ajuste linear considerando $x' = \ln(x)$ e $y' = \ln(y)$ ao invés dos valores x e y das n amostras observadas, obtendo a equação do primeiro grau $y'_{aj} = a_0 + a_1 \cdot x'$, sendo que os coeficientes da forma linear e de forma não-linear de grau b se relacionam da seguinte maneira: $a_0 = \ln(C_1)$ e $a_1 = b$.

Capítulo 4

Controle de um cursor 3D via *Wii Remote*

Este capítulo apresenta o detalhamento técnico computacional do controle de um ponteiro 3D virtual, ou cursor 3D, via *Wii Remote*, contemplando a modelagem matemática utilizada, bem como os problemas encontrados e como foram contornados.

Em seguida é apresentado o ambiente que foi utilizado para validação da proposta, com os fatores que foram levantadas para a concepção do projeto e os testes desenvolvidos para verificar a aceitação pelos usuários.

Por fim, são apresentados os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento dessa fase do projeto, considerando desde as grandezas que podem ser medidas utilizando os recursos do controle *Wii Remote*, quanto os resultados dos testes de seleção e movimentação de objetos que permitiram obter as curvas características de aprendizado, além da análise da aceitabilidade da proposta pelos usuários.

4.1 Problemas encontrados

A partir de testes preliminares para a verificação de quais são as informações transmitidas do *Wii Remote* para o computador foram observados alguns pontos que deveriam ser tratados.

O primeiro ponto consiste em alterar a direção dos dados da aceleração do eixo y de maneira a utilizar um sistema dextrógiro, uma vez que o acelerômetro do *Wii Remote* informa os valores de acordo com a base representada na figura 2.3.

O valor da aceleração recebido contém um pacote de dados contendo 8 bits (valores inteiros entre 0 e 255) para cada eixo, sendo que a representação é em excesso-127, ou seja, o valor 127 representa aceleração nula. Sabe-se que valores inferiores a 127 indicam acelerações no sentido negativo, enquanto que valores superiores representa aceleração no sentido positivo. Assim, para inverter o eixo y , foi utilizado o valor complementar a 255 para esse eixo.

Além disso, notou-se que para movimentar o cursor 3D de maneira equivalente ao movimento

efetuado pela mão do usuário, o movimento deveria ser restrito aos momentos em que o botão **A** estivesse pressionado, uma vez que o erro numérico devido às integrações para a obtenção da velocidade e posição seriam acumulados. Assim, optou-se em fazer a analogia com um *mouse* que movimenta, de forma relativa, um cursor 2D enquanto estiver sobre um apoio. Nas situações em que o movimento do *mouse* ultrapassa a superfície, o usuário deve levantar o *mouse* e levá-lo até uma região onde há superfície para apoiá-lo. Assim, o usuário pode movimentar livremente o *Wii Remote*, mas a posição do cursor 3D somente será alterada enquanto o botão **A** estiver pressionado.

Por fim, houve a necessidade de alinhar o movimento do cursor 3D de acordo com o ponto de vista do usuário, ou seja, quando o *Wii Remote* é levado da direita para a esquerda, o cursor deve seguir da direita para a esquerda da tela, independentemente do movimento que ocorrer em relação ao sistema de coordenadas da cena ou do acelerômetro. Para isso, foi necessário calcular uma matriz de rotação da câmera virtual e aplicar a transformação multiplicando a inversa dessa matriz pelas componentes da aceleração.

Para obter a matriz de rotação, são considerados três fatores que definem um câmera no sistema de coordenadas da OpenGL e que gera as imagens do ambiente virtual: a posição da câmera $POS = (POS_x, POS_y, POS_z)$, a posição do ponto $ALVO = (ALVO_x, ALVO_y, ALVO_z)$ para onde a câmera está apontada e o vetor que indica a direção “cima” $\vec{vup} = (vup_x, vup_y, vup_z)$ da imagem captada pela câmera virtual. Pode-se obter o vetor $\vec{vpn}$, que representa a direção da profundidade da câmera, ao se calcular a diferença entre as coordenadas dos pontos do alvo e da localização da câmera: $\vec{vpn} = ALVO - POS$. A partir dos vetores $\vec{vup}$ e $\vec{vpn}$ são determinadas os vetores das expressões da equação (4.1).

$$\begin{aligned}\vec{r_z} &= (r_{z1}, r_{z2}, r_{z3}) = \frac{\vec{vpn}}{\|\vec{vpn}\|} \\ \vec{r_x} &= (r_{x1}, r_{x2}, r_{x3}) = \frac{\vec{vup} \times \vec{r_z}}{\|\vec{vup} \times \vec{r_z}\|} \\ \vec{r_y} &= (r_{y1}, r_{y2}, r_{y3}) = \vec{r_z} \times \vec{r_x}\end{aligned}\tag{4.1}$$

A matriz de rotação R , representada pela equação (4.2), é definida pelas componentes dos vetores $\vec{r_x}$, $\vec{r_y}$ e $\vec{r_z}$ obtidos.

$$R = \begin{bmatrix} r_{x1} & r_{x2} & r_{x3} & 0 \\ r_{y1} & r_{y2} & r_{y3} & 0 \\ r_{z1} & r_{z2} & r_{z3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\tag{4.2}$$

Assim, para fazer a correção do movimento do cursor, deve-se multiplicar a inversa da matriz de

rotação R pelo vetor da aceleração $\vec{a}$ transmitido pelo *Wii Remote*, como mostra a equação (4.3).

$$\vec{a}_{alinhada} = R^{-1} \cdot \vec{a} \quad (4.3)$$

4.2 Movimentação do cursor

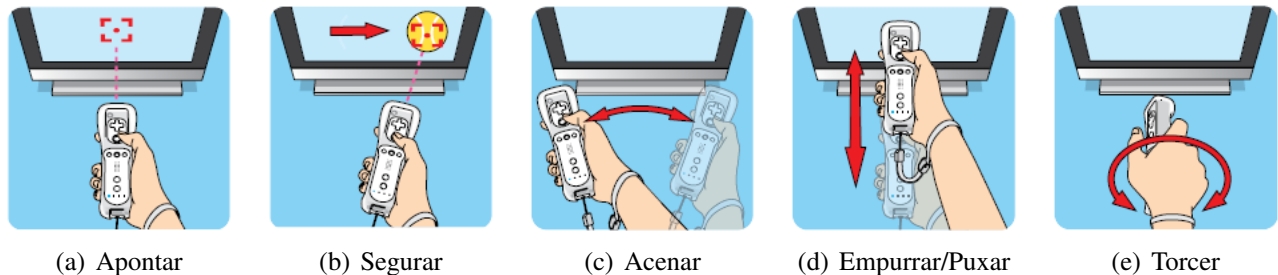
Esta seção detalha os principais métodos desenvolvidos para proporcionar uma movimentação suave de um cursor com uso de *Wii Remote*.

4.2.1 Movimentos e interações do usuário

A distribuição física dos elementos é semelhante à utilizada quando o usuário joga o *Nintendo Wii* habitualmente, entretanto, ao invés do console do videogame, é utilizado um computador pessoal ou *notebook*. A *WiiBar* pode ser posicionada acima ou abaixo da TV, na horizontal.

Segundo a *Nintendo*, o videogame interpreta cinco operações básicas que o usuário pode realizar com o *Wii Remote*: apontar, segurar, acenar, empurrar/puxar e torcer, como apresentado na figura 4.1.

Figura 4.1: Operações básicas definidas pela *Nintendo* para o uso do *Wii Remote* enquanto o jogador utiliza o videogame *Nintendo Wii*.



Fonte: Manual de Instruções do Wii - Configurações do Console (NINTENDO, 2011).

A partir das operações básicas reconhecidas pelo *Nintendo Wii* foram definidas as operações que seriam implementadas neste projeto. Dessas operações básicas, a operação **apontar** serve como base para as operações **segurar**, **empurrar/puxar** e **torcer**, definindo a situação inicial do *Wii Remote* antes de realizar essas outras três tarefas. Neste projeto, a situação inicial é definida quando o usuário pressiona o botão **A** do *Wii Remote*. A operação **torcer** não está implementada para manipular os objetos da cena, entretanto, a rotação do cursor exibido na tela é equivalente à situação do controle na mão do usuário. Foram implementadas as seguintes operações no projeto:

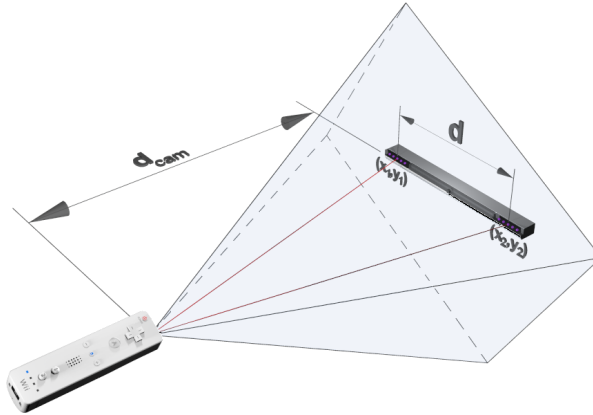
- a) **iniciar movimento**: equivalente à operação *apontar*. Serve como base para as demais operações, definindo a situação inicial do *Wii Remote* quando o botão **A** é pressionado;

- b) **movimentar:** as operações **segurar** (referente ao movimento do cursor 3D no plano da imagem) e **empurrar/puxar** (referente à profundidade) foram unificadas, permitindo mover os elementos em três direções. Caso o usuário solte o botão **A** o cursor deixará de se mover;
- c) **segurar:** com o cursor 3D no interior de um objeto, o usuário pode pressionar os botões **A** e **B**, com os dedos polegar e indicador em posição de pinça, para **movimentar** o objeto selecionado. O *Wii Remote* produz uma vibração para que o usuário tenha um *feedback* háptico, sinalizando que está segurando um objeto no ambiente virtual.

4.2.2 Distância entre o *Wii Remote* e a tela

Com a câmera do *Wii Remote* é possível estimar a distância d_{cam} entre o controle e a *WiiBar*. A figura 4.2 mostra que a *WiiBar* possui dois grupos de cinco LEDs em suas extremidades, a uma distância $d = 20$ cm. Segundo o manual do usuário do *Nintendo Wii*, recomenda-se que o usuário esteja a uma distância entre 1 e 3 metros da *WiiBar*.

Figura 4.2: *Wii Remote* e *WiiBar*.



Fonte: o autor.

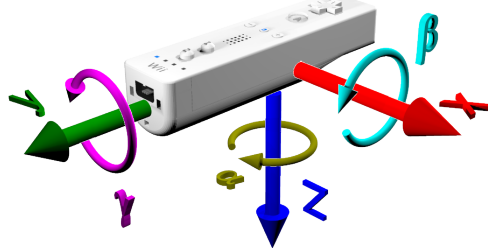
Com as informações da resolução da imagem, dos parâmetros da câmera e da geometria do sistema, é possível estimar a distância d_{cam} em metros, do *Wii Remote* até a *WiiBar* utilizando a equação (4.4), envolvendo as coordenadas (x_1, y_1) e (x_2, y_2) em *pixels*, dos centros dos LEDs projetados na imagem obtida pela câmera (WIIMOTE PHYSICS, 2010).

$$d_{cam} = \frac{0,1}{\tan \left(3,508 \times 10^{-4} \cdot \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \right)} \quad (4.4)$$

4.2.3 Ângulos de rotação do *Wii Remote*

Verificou-se, como já discutido, que o sistema de coordenadas do acelerômetro não correspondia ao sistema dextrógiro. Desta maneira, para que as operações vetoriais habituais pudessem ser realizadas normalmente, foi utilizado o valor complementar na direção y , resultando na distribuição apresentada na figura 4.3.

Figura 4.3: Correção dos eixos do acelerômetro no *Wii Remote* para o sistema dextrógiro.

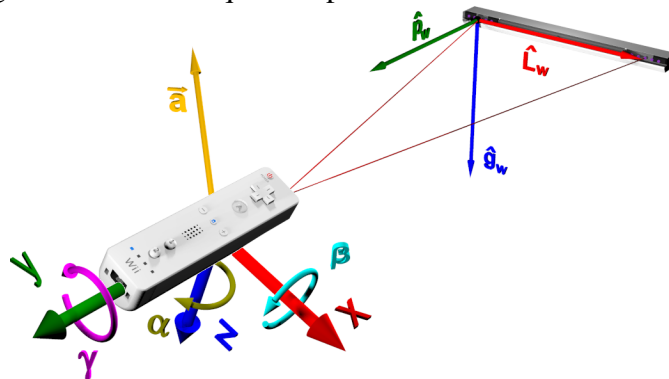


Fonte: o autor.

Os ângulos de Euler α , β e γ (respectivamente, em torno dos eixos z , x e y) podem ser obtidos a partir das informações da câmera e do acelerômetro recebidas pelo controle. Esses ângulos são utilizados para girar a representação do cursor na tela.

Quando o usuário pressiona o botão **A** será definida uma base B a partir de valores recebidos do acelerômetro (vetor da aceleração $\vec{a}$ no instante em que o botão **A** foi pressionado) e da câmera.

Figura 4.4: Vetores que compõem a base B sobre a *WiiBar*.



Fonte: o autor.

A partir do cálculo dos ângulos de Euler mostrado por Marion (1998), foi utilizada a projeção do vetor resultante $\vec{a}$ sobre os versores que compõem a base B , definida pelos versores $\vec{L}_w$ (paralelo a *WiiBar* e no plano da TV), $\vec{p}_w$ (ortogonal ao plano da TV) e $\vec{g}_w$ (paralelo a aceleração da gravidade), apresentados na figura 4.4. Os ângulos podem ser expressos pelas fórmulas da equação (4.5).

$$\begin{aligned}
\alpha &= \arccos \left(\frac{\vec{L}_w \cdot \vec{a}_{proj_{Lw, pw}}}{\|\vec{L}_w\| \cdot \|\vec{a}_{proj_{Lw, pw}}\|} \right) \\
\beta &= \arccos \left(\frac{\vec{p}_w \cdot \vec{a}_{proj_{pw, gw}}}{\|\vec{p}_w\| \cdot \|\vec{a}_{proj_{pw, gw}}\|} \right) \\
\gamma &= \arccos \left(\frac{\vec{g}_w \cdot \vec{a}_{proj_{gw, Lw}}}{\|\vec{g}_w\| \cdot \|\vec{a}_{proj_{gw, Lw}}\|} \right)
\end{aligned} \tag{4.5}$$

4.2.4 Trajetória do cursor

Para um determinado *frame* i , no instante t_i , a aceleração obtida a_i e a medida no *frame* anterior a_{i-1} , no instante t_{i-1} , são utilizadas para calcular os valores da velocidade v_i e os da posição P_i , conforme mostram as equações (4.6) e (4.7). O *fator* aplicado representa a sensibilidade que o usuário pode informar, de tal maneira a movimentar mais ou menos o cursor 3D a partir do movimento do controle.

$$v_i = v_{i-1} + fator \cdot (a_{i-1} - a_i) \cdot (t_{i-1} - t_i) \tag{4.6}$$

$$P_i = P_{i-1} + v_i \cdot (t_{i-1} - t_i) + fator \cdot (a_{i-1} - a_i) \cdot \frac{(t_{i-1} - t_i)^2}{2} \tag{4.7}$$

O cálculo da posição do cursor 3D é atualizado a cada *frame* em que o usuário realiza um movimento com o *Wii Remote* enquanto o botão **A** estiver pressionado, utilizando o algoritmo 1.

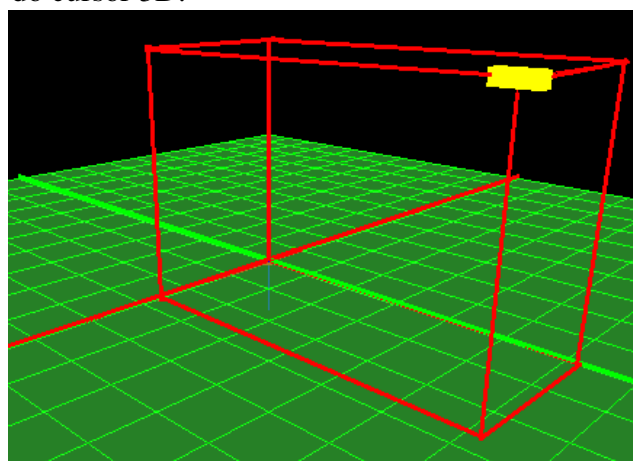
Algoritmo 1 - Movimentação do cursor

- Obter componentes da aceleração e instante de tempo atuais para que se determine a variação com essas informações armazenadas no *frame* anterior;
 - Se o usuário estiver pressionando o botão **A** então:
 - aplicar uma mudança de base para corrigir a direção da aceleração de tal maneira que o vetor aceleração fique paralelo à câmera e não ao sistema de coordenadas absolutas;
 - calcular a nova posição do cursor, integrando numericamente as componentes da aceleração e, em seguida, repetindo o processo para a obtenção da posição;
 - se o cursor estiver sobre um objeto e o botão **B** estiver pressionado então:
 - * alterar o centro do objeto de maneira a coincidir com a posição do cursor;
 - Armazenar os valores da aceleração resultante do *Wii Remote* e o instante de tempo atual para próximo *frame*.
-

4.2.5 Realimentação visual

O cursor 3D é representado graficamente por um pequeno paralelepípedo na cor amarela, que se move quando o usuário pressiona o botão A do *Wii Remote*. Para auxiliar o usuário a localizá-lo no ambiente, são traçadas as linhas de um paralelepípedo auxiliar com um vértice na origem e outro, diagonalmente oposto, no centro do paralelepípedo que representa o cursor, como pode ser visto na figura 4.5. Essas linhas vermelhas, em conjunto com a grade representada no plano $z = 0$, permitem ao usuário ter uma referência de origem e de deslocamento no plano horizontal.

Figura 4.5: Representação do cursor 3D, como um bloco amarelo e linhas vermelhas para auxiliar o usuário com a navegação do cursor 3D.



Fonte: o autor.

4.3 Bibliotecas auxiliares

Nesta seção serão apresentadas as principais bibliotecas utilizadas para o desenvolvimento do cursor 3D manipulado pelo *Wii Remote*. O aplicativo foi codificado no ambiente de desenvolvimento Embarcadero Delphi, utilizando a linguagem Object Pascal. Além da familiaridade com a linguagem, essa escolha também pode ser justificada pelas funcionalidades disponíveis de bibliotecas gratuitas que permitem:

- a) a geração, manipulação e representação gráfica do cursor e dos demais elementos que compõem a cena utilizando a biblioteca OpenGL;
- b) a comunicação entre o aplicativo e o controle *Wii Remote*, utilizando o protocolo *Bluetooth*. O componente utilizado para a comunicação entre o computador e o *Wii Remote*, desenvolvido por Marquardt (2004), foi instalado no Delphi e permite que a comunicação entre esses dispositivos

seja transparente ao programador, uma vez que é dado o acesso apenas a uma instância de uma classe que abstrai as propriedades e métodos relacionados ao *Wii Remote*;

- c) o processamento de simulações envolvendo as leis da Física, realizado pela biblioteca ODE, desenvolvida por Smith (2006). Embora o gerenciamento da posição do cursor não seja feito pela ODE, eventuais objetos que estejam sendo movidos por ele poderão colidir com outros, fazendo com que a ODE processe os pontos de contato dessas colisões.

Assim, a modelagem do cursor 3D apresentada até esse ponto faz uso dos dados do acelerômetro transmitidos pelo *Wii Remote* e recebidos pela biblioteca de comunicação. Com esse modelo do cursor é possível utilizar a *engine* ODE para processar as interações entre os objetos inseridos na cena e o cursor 3D. Todos os elementos, sejam objetos ou o cursor, são representados graficamente pela biblioteca OpenGL.

4.4 Análise dos resultados quantitativos

Nesta seção serão apresentadas análises numéricas sobre a medição dos ângulos de rotação e a distância até a *WiiBar*. Para avaliar essas medidas, foram feitos ajustes lineares entre os valores teóricos para que se pudesse observar os coeficientes de determinação R^2 , calculados pela expressão (3.3). Dessa maneira, esse coeficiente está sendo utilizado como um parâmetro de avaliação que indica se as grandezas (distância e ângulos) que foram medidas são diretamente proporcionais aos valores medidos por instrumentos de medição.

4.4.1 Distância entre o *Wii Remote* e a *WiiBar*

Para a estimativa da distância entre o *Wii Remote* e a *WiiBar* (profundidade de câmera), foram realizadas medições com o controle e comparadas com o valor medido com uma trena.

A partir dos resultados apresentados na tabela 4.1, ao se fazer o ajuste linear dos dados obtidos, em relação aos valores reais da distância, obteve-se coeficiente de determinação $R^2 = 0,9988$, indicando que os valores medidos possuem forte correlação linear com os valores teóricos.

Tabela 4.1: Medidas de profundidade do *Wii Remote* em relação a *WiiBar*.

Distância (m)	Valor obtido (m)
0,30	0,325
0,60	0,659
0,90	0,981
1,20	1,267

Fonte: O autor.

4.4.2 Ângulos de rotação do *Wii Remote*

Além da profundidade, foram obtidos os valores dos ângulos para a rotação em relação ao eixo x, ou seja, o ângulo β , que são apresentados na tabela 4.2. O ajuste linear desses valores obtidos permitiram obter o coeficiente de determinação $R^2 = 0,9953$, confirmando que os valores medidos com os recursos do *Wii Remote* são muito próximos aos esperados.

Tabela 4.2: Medidas da rotação β do *Wii Remote* em torno do eixo x.

Ângulo (°)	Valor obtido (°)
60	60,05
70	69,05
80	79,05
90	89,00
100	97,69
110	109,33
120	122,92

Fonte: O autor.

A tabela 4.3 apresenta a rotação do controle em relação ao eixo da profundidade da câmera (γ). Os dados medidos são próximos aos valores esperados, o que pode ser verificado ao observar o coeficiente de determinação $R^2 = 0,9998$.

Tabela 4.3: Medidas da rotação γ do *Wii Remote* em torno do eixo y.

Ângulo (°)	Valor obtido (°)
0	2,30
90	90,42
180	181,92
270	266,76

Fonte: O autor.

Considerando as características ergonômicas do movimento que o usuário faz no ambiente de ensino de Física, assumiu-se constante e nulo o ângulo de rotação α em relação ao eixo z, ou seja, o controle fica disposto perpendicularmente à imagem gerada.

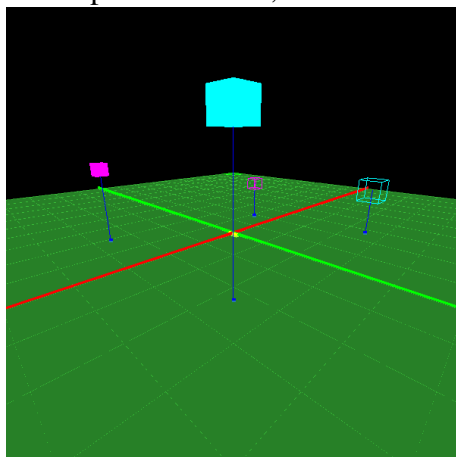
4.5 Análise da usabilidade

É essencial neste projeto avaliar a receptividades dos potenciais usuários em relação ao ambiente concebido. Para tal, foram aplicados alguns testes para que os usuários pudessem avaliar a usabilidade

do *Wii Remote* como controlador de um apontador 3D virtual, propiciando uma interação precisa com o ambiente tridimensional. Foram considerados os seguintes fatores que poderiam influenciar nos resultados dos testes: (F1) habilidade de visualização espacial, (F2) habilidade de coordenação motora, (F3) familiaridade com uso de videogames com interação gestual e (F4) familiaridade com uso aplicativos gráficos 3D. Os fatores (F1) e (F2) são habilidades que todas as pessoas possuem em grau mais ou menos desenvolvido. Os fatores (F3) e (F4) envolvem uma combinação das habilidades (F1) e (F2) que foram desenvolvidas em um ambiente (*software* e *hardware*) semelhante ao dos testes.

Antes de iniciar os testes foi dado ao usuário um período de familiarização com o dispositivo, podendo mover o cursor 3D livremente pela cena, além de poder mover um cubo.

Figura 4.6: Ambiente de teste contendo dois objetos preenchidos, de cores e tamanhos diferentes, bem como as linhas que indicam os respectivos alvos, com tamanho e cores correspondentes.



Fonte: o autor.

Em alguns testes, o usuário deveria fazer o movimento de um objeto sobre uma linha de referência (linhas mais espessas no plano $z = 0$). O usuário poderia indicar se é destro ou canhoto, alterando a linha de referência para que o usuário possa movimentar o braço de maneira semelhante a um compasso.

Em todos os casos, a posição do objeto em relação ao alvo era definida aleatoriamente, mas limitadas a três fatores: todos os elementos estavam visíveis, ou seja, acima do plano $z = 0$; os elementos poderiam estar dispostos em um plano vertical, sobre a linha de referência; e a distância inicial entre os objetos e respectivos alvos era a mesma, entretanto sua disposição era aleatória.

Foram elaborados seis testes, descritos a seguir:

- a) **Teste 1:** mover um objeto até o alvo. Objeto e alvo sobre a linha de referência;
- b) **Teste 2:** mover dois objetos, de cores e tamanhos diferentes, até os respectivos alvos. Todos os elementos estão sobre a linha de referência;

- c) **Teste 3:** mover um objeto até o alvo. Os dois elementos estão dispostos aleatoriamente na cena;
- d) **Teste 4:** mover dois objetos até os respectivos alvos. Todos os elementos estão dispostos aleatoriamente na cena;
- e) **Teste 5:** semelhante ao Teste 1, sem a linha vertical;
- f) **Teste 6:** semelhante ao Teste 4, sem a linha vertical.

Para cada um dos testes foram armazenados: a duração, o tamanho dos objetos e as distâncias entre seus centros e os centros dos respectivos alvos. Após a conclusão dos testes, o aplicativo apresentou um formulário de pesquisa para que o usuário preenchesse questões tanto de caráter demográfico, quanto sua experiência com aplicativos e dispositivos de entrada de informação tridimensionais. O formulário pode ser visto no Anexo D.1.

As questões do formulário foram desenvolvidas a partir do método de Likert (1932), considerando uma escala que foi quantificada com valores inteiros entre 1 e 5. Durante a análise dos resultados esses valores foram agrupados, criando três categorias que representam a opinião do usuário sobre cada questão. Assim, os resultados 1 e 2 foram agrupados para gerar a categoria “Pouca”, a alternativa intermediária 3 recebeu o nome de “Alguma” e a extremidade superior, contendo as respostas 4 e 5, definiram a categoria “Muita”. Com a definição desses três grupos, os valores 1, 2 e 3, que representam os grupos com “Pouca”, “Alguma” e “Muita”, respectivamente, foram utilizados durante as análises estatísticas realizadas aos dados obtidos. Essa taxonomia das respostas foi aplicada a todas as questões do formulário sobre o grau de experiência do usuário com ambientes tridimensionais, bem como da familiaridade com o uso do *Wii Remote*, além da usabilidade do cursor 3D.

4.5.1 Perfil demográfico dos usuários

Foram submetidas aos testes 27 voluntários, sendo 23 homens e 4 mulheres. O perfil profissional desses usuários foi constituído de 74,1% de estudantes e 25,9% de professores da graduação do curso de Engenharia. A média de idade desses usuários está entre 23 e 24 anos. Praticamente metade dos usuários informou que possuem pouca ou nenhuma familiaridade com o uso do *Wii Remote*.

A partir dos fatores (F1), (F2), (F3) e (F4), descritos na seção 4.5, o questionário foi elaborado para poder caracterizar os usuários segundo suas habilidades, tanto motoras quanto de visualização espacial, além da familiaridade com dispositivos e aplicativos 3D. A lista a seguir apresenta quais foram os fatores que foram considerados para a elaboração de cada uma das perguntas:

- a) **(F1) e (F2):** Qual sua familiaridade com dispositivos de interação 3D (*Spaceball*, *mouse* 3D, luva 3D, *SpaceNavigator* etc)?
- b) **(F1), (F2) e (F3):** Qual sua familiaridade com dispositivos de interação por movimento (*Kinect*, *Smart TV* etc)?

- c) **(F1) e (F3)**: Qual sua familiaridade com jogos 3D?
- d) **(F1), (F2) e (F4)**: Qual sua familiaridade com aplicativos 3D de modelagem de sólidos ou superfícies (*SolidWorks, SolidEdge, Catia, Rhinoceros, Revit* etc)?

Para obter o grau de experiência do usuário com o uso de aplicativos e métodos de entrada de informações que possuem similaridade com a proposta dos testes de movimento de objetos controlados pelo *Wii Remote*, foi calculada a média aritmética dessas quatro respostas, além do grau de familiaridade com o *Wii Remote*.

As subseções a seguir apresentam os resultados obtidos para cada um dos itens analisados com base em comparações múltiplas entre as médias dos grupos de usuários com “Pouca”, “Alguma” ou “Muita” experiência. A comparação entre esses três grupos deve ser feita realizando o teste de análise de variância (ANOVA) ou o teste de Kruskal-Wallis, dependendo se a distribuição dos dados segue um comportamento gaussiano ou não, como apresentado na seção 3.2.3. Vale ressaltar que, optou-se por não incluir o grupo de usuários com “Muita” experiência, uma vez que são apenas três indivíduos e seus resultados são praticamente idênticos, podendo prejudicar a análise geral dos dados. Assim, por se considerar apenas os indivíduos do grupos “Pouca” e “Alguma”, as comparações entre esses grupos será feita pelo teste paramétrico *t-Student* ou, nas situações a distribuição dos dados não possui comportamento gaussiano, o testes não paramétrico de Mann-Whitney, descrito na seção 3.2.3.

Independentemente do teste utilizado, eles indicam se o comportamento das respostas desses grupos de usuários são diferentes entre si ou não, de forma que as hipóteses estatísticas são: (H_0) os grupos tem o mesmo comportamento (hipótese nula) versus (H_1) algum grupo apresenta comportamento distinto dos demais (hipótese alternativa). Se o p-valor obtido pelo teste estatístico for inferior ao nível de 5% de significância isso indica que existe algum grupo com média estatisticamente diferente dos demais.

4.5.2 Desempenho dos usuários

Para medir o desempenho dos usuários em cada um dos testes foi avaliada a distância média relativa entre os objetos e seus respectivos alvos ao final de cada um dos seis testes. Outro fator que foi avaliado foi o tempo total para realizar os seis testes.

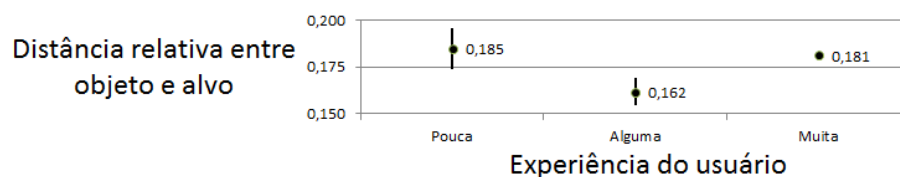
O parâmetro adimensional da distância média relativa $\overline{dist}$ é calculada pela média da relação entre o tamanho do objeto pela distância entre os centros do objeto em sua posição final (x_{obj_i}, y_{obj_i}) e o respectivo alvo (x_{alvo_i}, y_{alvo_i}) , para cada i dos seis testes, como mostra a equação (4.8).

$$\overline{dist} = \frac{1}{6} \cdot \sum_{i=1}^6 \frac{Tamanho_{obj_i}}{\sqrt{(x_{obj_i} - x_{alvo_i})^2 + (y_{obj_i} - y_{alvo_i})^2 + (z_{obj_i} - z_{alvo_i})^2}} \quad (4.8)$$

Deve-se destacar que cada um dos alvos realçava a espessura de suas linhas e mudava de cor quando o respectivo objeto estivesse em seu interior. Isso acontecia quando as distâncias entre os centros do objeto e do alvo eram inferiores a 80% do tamanho do objeto. Coube ao usuário julgar a precisão do posicionamento. Assim, o resultado da distância média relativa é um valor adimensional, pertencente ao intervalo $[0,0; 0,8]$, indicando a proximidade entre os centros, independente do tamanho dos objetos. Nesse caso, quanto mais próximo o valor de zero, mais preciso foi o movimento do usuário.

O gráfico da figura 4.7 mostra os valores médios das distâncias relativas e os limites do erro padrão, agrupados de acordo com o nível de experiência do usuário. Foi obtido $p\text{-valor}=0,1724$ pelo teste *t-Student*, mostrando que não é possível concluir se existe diferença significativa entre os erros de posicionamento cometidos pelos usuários dos dois grupos. Comparando com a análise não paramétrica de Mann-Whitney, chegou-se ao mesmo resultado ($p\text{-valor}=0,2152$), não rejeitando a hipótese de que distâncias relativas são iguais. Entretanto, pode ser observado, pelos valores médios desse gráfico, que a diferença entre o maior (0,185) e menor (0,162) valor vale 0,023, ou seja, 2,3% do tamanho do alvo, indicando que, embora estatisticamente não exista diferença significativa, na prática a diferença entre os usuários é muito pequena.

Figura 4.7: Valores médios, delimitados pelos respectivos erros padrão, das distâncias relativas (adimensional) entre objetos e respectivos alvos obtidos ao longo dos seis testes e distribuídos segundo o grau de experiência dos usuários.



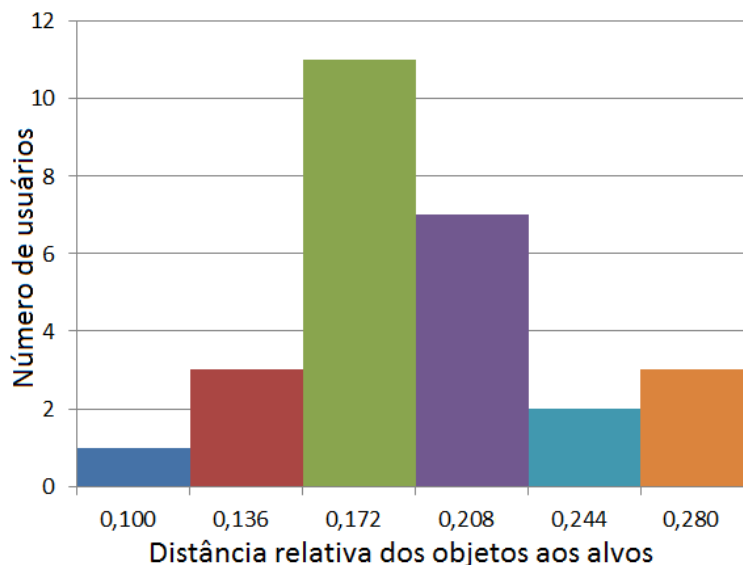
Fonte: o autor.

Deve-se ressaltar que os usuários classificados com “Muita” experiência com tecnologias tridimensionais tiveram o mesmo desempenho, motivo pelo qual os limites do erro padrão não são exibidos no gráfico.

O tamanho do efeito, apresentado na seção 3.2.2, para a variável distância em relação aos usuários com “Pouca” e “Alguma” experiência é moderado ($d=0,595$). Ao considerar todos os usuários, a distância relativa entre os objetos e respectivos alvos possui valor médio de $0,176 \pm 0,050$ e distribuição dada pelo histograma da figura 4.8.

Vale observar que 95% dos participantes posicionou o bloco a uma distância relativa inferior a 0,259, lembrando que o alvo sinalizava trocando de cor quando o objeto estava em seu interior, para distâncias relativas abaixo de 0,8 do seu tamanho. Isso mostra que, mesmo para os usuários com pior posicionamento, o valor está bem abaixo do limite.

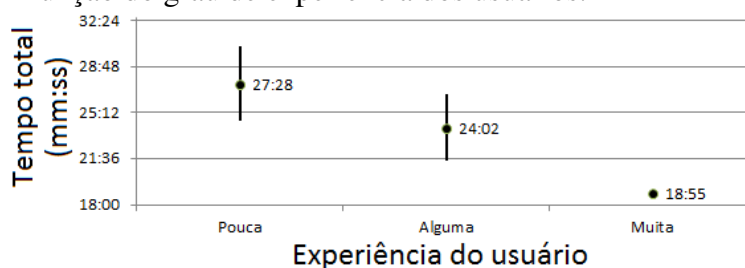
Figura 4.8: Histograma indicando as faixas de distâncias relativas (adimensional) médias entre objetos e seus respectivos alvos que os usuários posicionaram os blocos, independente do número de testes e do número de blocos de cada teste.



Fonte: o autor.

O segundo fator que foi considerado para avaliar o desempenho dos usuário é o tempo total para realizar os posicionamentos dos nove objetos distribuídos nos seis testes. Foi realizado um teste *t-Student* e obteve-se $p\text{-valor}=0,3181$. Esse resultado mostra que não se pode concluir se existe diferença significativa entre as médias dos tempos para os grupos de usuários, independentemente do nível de experiência, embora o gráfico da figura 4.9 mostra que existe uma tendência de que, quanto maior a experiência do usuário, menor será o tempo necessário para realizar as tarefas propostas. Em virtude da normalidade na distribuição dos tempos não foi necessário realizar um teste não paramétrico nesse caso específico.

Figura 4.9: Valores médios, delimitados pelos respectivos erros padrão, dos tempos totais da realização dos seis testes em função do grau de experiência dos usuários.

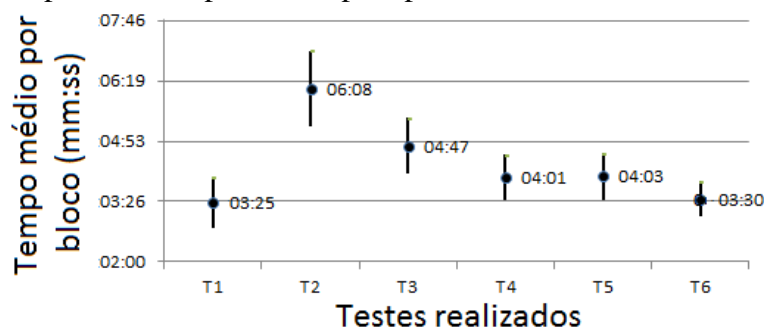


Fonte: o autor.

Além da análise para a realização total, foi verificado o tempo necessário para a realização de

cada um dos testes individualmente. O gráfico da figura 4.10 mostra o tempo médio, no sistema sexagesimal representado pelo formato mm:ss, de cada um dos testes, bem como os respectivos limites dos erros padrão, por objeto. Pode-se verificar que o tempo médio do teste $T2$ é, aproximadamente, o dobro do teste $T1$, uma vez que o usuário teria que fazer o dobro de tarefas do primeiro, sob as mesmas condições. Entretanto, os testes $T4$ e $T6$ possuem tempo médio inferior aos de seus pares com um único objeto, mostrando a evolução do aprendizado do usuário ao longo do tempo.

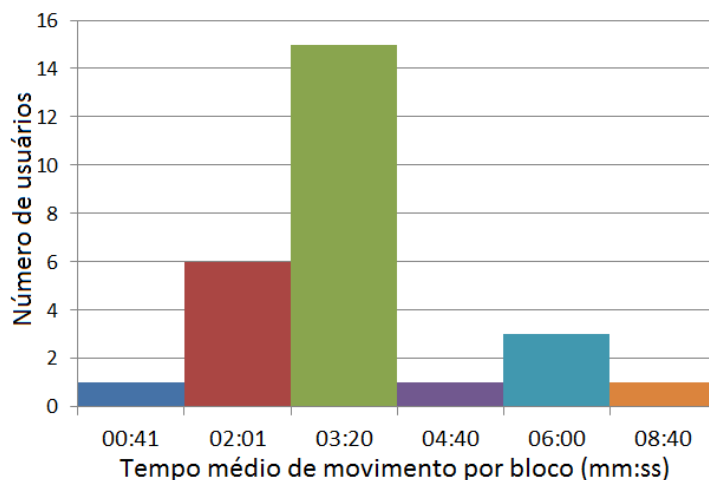
Figura 4.10: Tempos médios, por bloco, para posicionamento de cada um dos seis testes.



Fonte: o autor.

O tempo médio, por bloco, de todos os participantes é de 2 minutos e 46 segundos, com desvio padrão de 1 minuto e 33 segundos. Deve-se ressaltar que, embora o tempo possa parecer alto para que o usuário faça uma tarefa (que compreende uma série de interações), era necessário levar o cursor 3D até um bloco e, em seguida, movê-lo até a posição do alvo. A distribuição desses tempos é dada pelo histograma da figura 4.11.

Figura 4.11: Histograma indicando as faixas do tempo médio que os usuários levaram para movimentar um bloco, independente do número de testes e do número de blocos de cada teste.



Fonte: o autor.

Para essa amostragem, 95% dos participantes conseguiu realizar o teste em um tempo menor do que 5 minutos e 20 segundos. Além disso, foi verificado ainda que o tamanho do efeito da variável tempo, em relação aos usuários com “Pouca” e “Alguma” experiência, se apresentou como moderado ($d=0,431$).

Considerando os valores médios dos tempos a partir do teste T_2 , foi determinada por regressão não linear a equação (3.12) da curva de aprendizagem, seguindo o modelo potencial de Wright (ANZANELLO; FOGLIATTO, 2007), com coeficiente de determinação $R^2 = 0,9684$, que descreve o comportamento do aprendizado do usuário, teste após teste.

A equação $T(n) = 368 \cdot n^{-0,335}$ permite determinar o tempo médio T , em segundos, para o n -ésimo teste de movimentação de blocos até os respectivos alvos ao qual um usuário será submetido. A constante $C_1 = 368$ s consiste no tempo do primeiro teste analisado. Além disso, a declividade da curva de aprendizado $b = -0,335$ permite obter a porcentagem característica da curva $p = 0,79278$, a partir relação apresentada na equação (3.13). Desta maneira, pode-se dizer que a curva de aprendizagem para que um usuário movimente um bloco até a posição indicada pelo alvo é de, aproximadamente, 80%.

4.5.3 Dificuldades em movimentos básicos

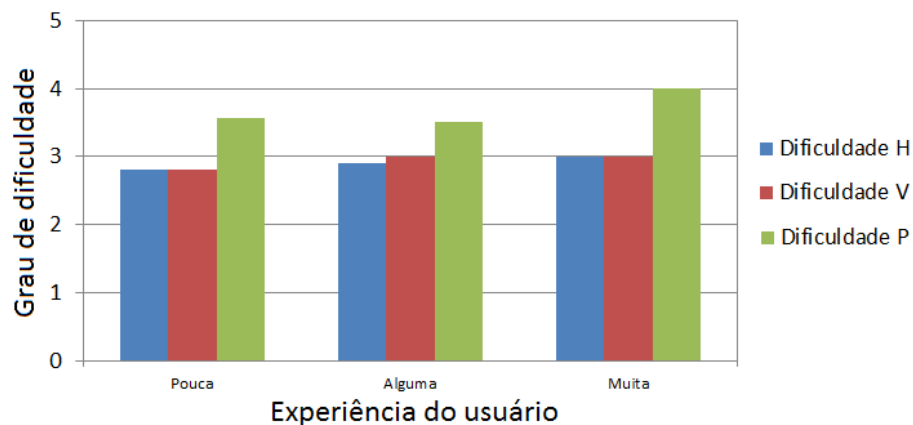
Foi solicitado que os usuários indicassem o grau de dificuldade, para realizar movimentos na direção horizontal, vertical ou profundidade (em relação ao usuário e não ao sistema de eixos representados na tela). Ao realizar o teste *t-Student* foram obtidos os valores $p\text{-valor}_H=0,9490$, $p\text{-valor}_V=0,8722$ e $p\text{-valor}_P=0,8740$, indicando que não é possível determinar se a dificuldade para cada uma das direções possui diferença significativa entre os diferentes graus de experiência dos usuários. Devido ao comportamento dos dados diferente de uma distribuição normal, foram realizados testes de Mann-Whitney e os resultados ($p\text{-valor}_H=0,9493$, $p\text{-valor}_V=0,8434$ e $p\text{-valor}_P=0,7698$) se mostram condizentes com os do teste paramétrico.

Foi calculado o tamanho do efeito para as dificuldades expressas pelos usuários e todos os casos mostraram um pequeno efeito ($d_H=0,027$, $d_V=0,149$ e $d_P=0,164$) da dificuldade em relação à experiência do usuário.

Pode-se observar no gráfico da figura 4.12 que o grau de dificuldade nos movimentos horizontais e verticais é praticamente o mesmo para todos os usuários, respectivamente $2,904 \pm 0,094$ e $2,938 \pm 0,108$ em uma escala de 1 até 5.

Entretanto, pode-se observar que o grau de dificuldade expresso pelos usuário para realizar movimentos perpendiculares à imagem do aplicativo exibido em frente ao usuário também é equivalente aos grupos, maior do que a dificuldade para realizar movimentos na horizontal ou vertical ($3,688 \pm 0,272$).

Figura 4.12: Grau de dificuldade expresso pelos usuários, entre 1 e 5, do movimento do cursor 3D nas direções horizontal, vertical e profundidade, classificados de acordo com o nível de experiência dos usuários.



Fonte: o autor.

Foram feitas testes estatísticos considerados todos os participantes, independente do grau de experiência. O teste *t-Student* foi aplicado nos valores referentes às dificuldades nas três direções, duas a duas, e pode-se confirmar o fato de que existe diferença significativa quando comparados as dificuldades nos movimentos horizontal e profundidade ($p\text{-valor}_{HP}=0,0015$) e vertical e profundidade ($p\text{-valor}_{VP}=0,0067$). Não se pode afirmar que existe diferença estatisticamente significativa na dificuldade dos movimentos horizontal e vertical ($p\text{-valor}_{HV}=0,7457$). As mesmas análises feitas sob óptica não paramétrica do teste de Mann-Whitney apresentam resultados similares em relação ao teste *t-Student*, com p-valores 0,0053; 0,0113 e 0,9119; respectivamente.

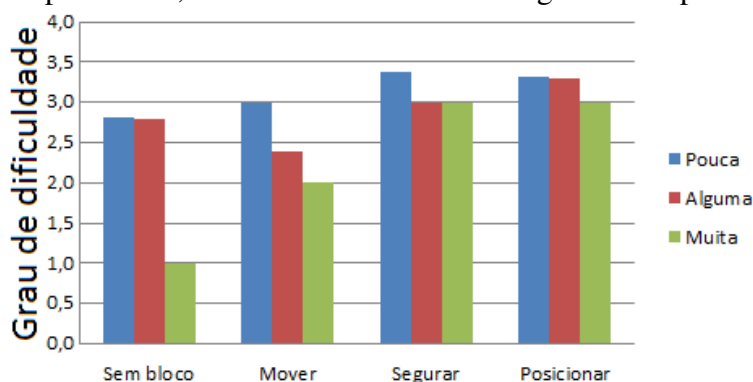
Isso levou a conclusão de que o movimento na direção da profundidade deveria ser revisto, gerando uma investigação sobre a modelagem do movimento feita inicialmente, com base nas transformações que ocorrem com o vetor de aceleração, onde foi verificado um erro: a componente da aceleração no eixo da profundidade era 12% menor do que nas demais. Dessa maneira, esse fator 1,12 foi multiplicado nessa componente para que o movimento do cursor 3D seja equivalente, independentemente da direção.

4.5.4 Dificuldade em realização de tarefas propostas

Foi solicitado que o usuário indicasse o grau de dificuldade, de 1 a 5, ao realizar as seguintes ações: movimentação do cursor 3D sem o bloco, mover o cursor até o bloco, segurar o bloco e posicionar o bloco no alvo.

O gráfico da figura 4.13 mostra que a dificuldade tende a ser crescente, de acordo com o aumento da complexidade motora das tarefas para os três grupos de usuários.

Figura 4.13: Grau de dificuldade expresso pelos usuários, entre 1 e 5, na realização das tarefas: sem bloco, mover, segurar e posicionar, considerando os diferentes graus de experiência dos participantes.



Fonte: o autor.

Para cada uma das ações: movimentar o cursor sem o bloco, mover o cursor até o bloco, mover o cursor segurando o bloco até a posição do alvo e posicionar o bloco no interior do alvo, a dificuldade em realizar essas ações foi comparada pelo teste *t-Student*, cujos resultados geraram os respectivos p-valores 0,8239; 0,060; 0,1752 e 0,6377. Pelo padrão da distribuição dos dados, foi necessário realizar o teste de Mann-Whitney gerando p-valores 0,7167; 0,0663; 0,1697 e 0,7757, respectivamente, confirmando o resultado do teste paramétrico: para as quatro ações não se pode afirmar que há diferença estatística entre os grupos com níveis distintos de experiência. As barras da figura 4.13 mostram que, na prática, os usuários com “Pouca” e “Alguma” experiência possuem uma pequena diferença nas médias da dificuldade de cada tarefa (no pior dos casos 0,6 ponto em uma escala subjetiva de cinco níveis).

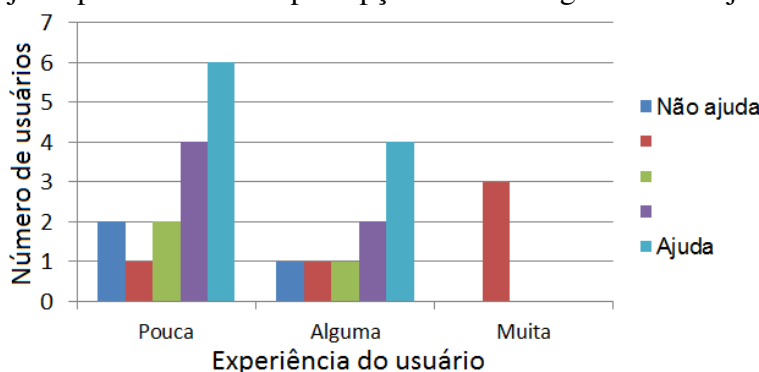
O cálculo do tamanho do efeito para os grupos com distintos níveis de experiência do usuário para esses quatro tipos de tarefa mostra que há um pequeno efeito ($d = 0,095$) da dificuldade em mover o cursor sem o bloco, grande efeito em mover o bloco ($d = 0,836$). Para as tarefas de segurar e posicionar o bloco, o tamanho do efeito da dificuldade em realizar essas tarefas é moderado ($d = 0,591$ e $d = 0,201$).

4.5.5 Reação háptica

Foi solicitado ao usuário que expressasse sua opinião com relação à resposta háptica do *Wii Remote* durante as situações em que os objetos estavam sendo segurados e movidos pelo espaço. Essa opinião foi expressa em uma escala hedônica de 5 pontos, que representavam as situações de “Não ajuda a ter a sensação de estar segurando o objeto virtual” até “Ajuda a ter a sensação de estar segurando o objeto virtual”. O gráfico da figura 4.14 mostra que a vibração do *Wii Remote* durante o ato de segurar os objetos da cena contribui para o usuário como uma maneira adicional da percepção

de estar segurando os objetos, observando que 10 usuários com pouca experiência e 6 com alguma assinalaram as duas alternativas superiores, ou seja, 60% dos usuários sinalizaram positivamente para esse recurso.

Figura 4.14: Opinião dos usuários sobre o quanto a reação háptica como realimentação de seleção e movimentação de objetos pode auxiliar na percepção de estar segurando o objeto do mundo virtual.



Fonte: o autor.

Verificou-se ainda que a realimentação háptica auxilia na percepção do movimento com maior intensidade nos usuários com pouca experiência. Todos os usuários com muita experiência assinalaram a alternativa 2, mais próxima à opinião de que a realimentação háptica não contribuiu para a sensação de segurar o objeto no mundo virtual. Além disso, foi obtido $p\text{-valor}=0,9428$ pelo teste *t-Student* e $p\text{-valor}=0,9253$ pelo teste de Mann-Whitney, mostrando que não existe diferença significativa entre as opiniões sobre quanto a reação háptica pode auxiliar os usuários de diferentes graus de experiência.

4.5.6 Considerações sobre os resultados

Esse estudo preliminar teve como objetivo verificar se o movimento dos objetos da cena pelo cursor controlado pelo *Wii Remote* poderia ser utilizado por todos os usuários, independente do seu grau de familiaridade com tecnologias e dispositivos de interação tridimensionais.

O gráfico da figura 4.7 mostra que a precisão no posicionamento é equivalente em relação aos três níveis de experiência dos usuários. Ao verificar os tempos em que as tarefas foram realizadas, observou-se ainda que todos os participantes conseguiram concluir os testes. Embora não sejam estatisticamente significativas as diferenças, o nível de experiência parece ter feito com que os que possuíam maior familiaridade terminassem antes dos demais.

Acredita-se que os resultados poderiam ser mais conclusivos se o número de usuários com muita experiência fosse maior. Entretanto, a amostragem foi por conveniência, pois essas pessoas que contribuíram com seu tempo e disposição foram voluntários. Outro fator que pode ter influenciado nos resultados consiste pelo fato de que o nível de experiência ter sido determinado a partir de um

conjunto de respostas subjetivas que os usuários expressaram sobre a familiaridade com determinados *hardwares* e *softwares* e não por testes de habilidades motoras e de visualização espacial.

Com base nos dados obtidos de que todos os grupos de usuários conseguiram um bom desempenho em relação ao posicionamento dos objetos sobre os alvos, um número considerável de pessoas sinalizando que a reação háptica auxiliou na percepção de estar segurando um objeto do mundo virtual e a realimentação dada que permitiu encontrar um erro na modelagem do movimento do cursor se mostraram primordiais para dar início à segunda, e mais importante, fase do projeto: o desenvolvimento do ambiente auxiliar para estudos sobre Física.

Capítulo 5

Ambiente de simulações físicas

Uma vez que os usuários fizeram os testes para validar a proposta do cursor 3D, são apresentados neste capítulo os aplicativos elaborados para simular um ambiente de laboratório de Física virtual: um para que o professor crie as cenas e outro que permite ao aluno abrir a cena e repetir virtualmente os experimentos interagindo com os objetos utilizando o *Wii Remote*. A simulação no aplicativo dos alunos é possível pelo uso de uma biblioteca que aplica as leis da Física sobre os objetos da cena e calcula as colisões entre esses elementos. Essas ferramentas e bibliotecas utilizadas nos aplicativos desenvolvidos serão detalhadas neste capítulo.

Será ainda detalhada a metodologia aplicada para investigar os efeitos do uso do aplicativo dos alunos em relação aos conhecimentos básicos de Física dos usuários, mostrando como foram criadas as cenas de tal maneira a serem relacionadas aos assuntos dos questionários de avaliação de conhecimento aplicados. Por fim, serão discutidos os resultados dos questionários desenvolvidos para analisar a proposta do ambiente educacional para simulações físicas.

5.1 Modelagem de dados das cenas

O aplicativo que os alunos podem utilizar permite abrir um arquivo contendo uma cena que foi criada pelo aplicativo do professor. Assim, foi necessário definir um padrão de arquivo de dados, bem como quais seriam as informações que deveriam ser salvas.

Foi utilizado o componente **ClientDataSet** do Delphi como o *parser* responsável pela análise sintática dos dados que serão armazenados no padrão XML, exemplificado no Anexo E. Assim, a criação e manipulação de arquivos de dados fica transparente ao programador, que apenas utiliza funções para inserção e busca dos dados. Cada arquivo XML representa uma tabela de banco de dados que armazena todos os atributos de cada um dos objetos da entidade **Cena**, apresentados no quadro 5.1 e detalhados nas subseções a seguir. Esses atributos são convertidos em argumentos das funções

da ODE e OpenGL que serão utilizadas para simulações físicas e renderização, respectivamente.

Quadro 5.1: Atributos da entidade Cena.

Atributo	Tipo de dado	Atributo	Tipo de dado
ID	Integer	R	Float
Nome	String[20]	G	Float
X	Float	B	Float
Y	Float	A (α)	Float
Z	Float	UsaCor	Boolean
Ang	Float	Massa	Float
eixoX	Float	TipoDeColisao	Integer
eixoY	Float	Atrito	Float
eixoZ	Float	TemGravidade	Boolean
SX	Float	ODEMove	Boolean
SY	Float	UserMove	Boolean
SZ	Float	MoveX	Boolean
ODETipo	Integer	MoveY	Boolean
Dim1	Float	MoveZ	Boolean
Dim2	Float	MostraRastroSempre	Boolean
Dim3	Float	MostraRastroSolto	Boolean
Dim4	Float	MostraVecV	Boolean
Arquivo	String[255]	MostraVecA	Boolean
		MostraEixoRot	Boolean

Fonte: O autor.

Embora os objetos da cena possuam identificação (**ID** e **Nome**), todos são desenhados em todos os *frames* da simulação, uma vez que não houve a necessidade de criar filtros para desenhar somente alguns elementos com determinada característica.

5.1.1 Modelagem geométrica

Cada objeto da cena tem seu centro definido pelos atributos **X**, **Y**, **Z**. O valor **Ang** representa o ângulo de rotação, em graus, do objeto em relação a um vetor definido por (**eixoX**, **eixoY**, **eixoZ**). Além disso, pode-se ajustar o fator de escala de maneira não homotética pelos fatores **SX**, **SY** e **SZ**.

O atributo **ODETipo** define qual será a geometria do objeto. De acordo com esse atributo, os valores atribuídos aos campos **Dim1**, **Dim2**, **Dim3** e **Dim4** terão significado diferente, podendo representar características geométricas ou dimensões dos objetos disponíveis na ODE (SMITH, 2006),

como mostrado no quadro 5.2. Os itens com o símbolo “-” não são considerados para o tipo de geometria descrito.

Quadro 5.2: Atributos de dimensões dos objetos da cena.

Tipo de objeto	ODETipo	Dim1	Dim2	Dim3	Dim4
Esfera	0	Raio	-	-	-
Cápsula	1	Raio	Dist. entre centros	-	-
Paralelepípedo	2	Lado X	Lado Y	Lado Z	-
Plano	3	a	b	c	d
Malha triangular	4	-	-	-	-

O plano é definido pela equação: $a \cdot x + b \cdot y + c \cdot z + d = 0$.

Fonte: O autor.

Para que o ambiente de simulações de experimentos de Física pudesse ter mais realismo, optou-se por não produzir o modelo 3D dos objetos no aplicativo, mas utilizar aplicativos comerciais de modelagem de sólidos ou superfícies para gerar esses modelos. Independentemente do aplicativo comercial utilizado, o usuário poder salvar o modelo na extensão *Wavefront Object* (OBJ) e inserí-lo no aplicativo desse projeto. Como esse formato de arquivo armazena o conjunto de vértices e as listas de vértices que formam triângulos, optou-se por inserir esses dados na biblioteca ODE com a estrutura de malha triangular, conforme apresentado na seção 2.2.2. Portanto, o atributo **Arquivo** não armazena as informações do modelo 3D, mas somente o caminho do arquivo *WaveFront Object*, com extensão OBJ, armazenado no computador. Assim como acontece nos aplicativos comerciais de modelagem, caso exista um arquivo de definições de materiais (extensão MTL), ele deve estar na mesma pasta do arquivo OBJ.

Independente do tipo do objeto que é criado, ele deve possuir uma cor, definida por suas componentes **RGBA**. Os valores de cada um desses quatro campos são números reais, pertencentes ao intervalo $[0; 1]$. Essa cor será utilizada em todo o objeto, mas somente será utilizada caso o atributo **UsaCor** contiver o valor lógico **TRUE**, caso contrário, o valor **RGBA** será definido como $(0, 0, 0, 0)$. Para os objetos do tipo malha triangular (criados em aplicativos de terceiros) simples, esse recurso pode ser utilizado, principalmente se forem criadas várias instâncias desses elementos na cena. Entretanto, para os modelos mais elaborados, que normalmente possuem um arquivo com a definição de materiais, recomenda-se utilizar o valor **FALSE** para o atributo **UsaCor**, de tal maneira que as cores e texturas (definidas internamente ao arquivo OBJ) originais sejam utilizadas.

5.1.2 Modelagem física

Além das características geométricas, cada um dos objetos da cena possui atributos relacionados à Física, como a **Massa**, restrita a um valor real positivo, além de outros três que são aplicados igualmente para todos os objetos da cena, uma vez que representam configurações globais do meio em que a cena está sendo composta, como a gravidade, o tipo de colisão e o coeficiente de atrito. Esses objetos instanciados serão os que a *engine* ODE utilizará para realizar a simulação.

O atributo **TemGravidade** armazena um valor lógico que indica se a aceleração da gravidade será aplicada aos corpos, com o valor fixo de $9,81^1$, na direção **Z** (apontando para baixo), ou atribuído o valor zero para todas as componentes.

O **TipoDeColisao** é um atributo que está relacionado ao coeficiente de restituição da colisão entre dois corpos, permitindo gerar objetos com características mais ou menos elásticas. Pode armazenar os valores 0, 1 ou 2, indicando se as colisões entre os objetos da cena possuem característica inelástica, parcialmente elástica ou perfeitamente elástica, respectivamente.

O coeficiente de **Atrito** também não está associado ao objeto, mas ao contato entre as superfícies de dois corpos. Por esse motivo esse valor é armazenado igualmente para todos os objetos.

A cada *frame* a ODE cria uma lista contendo os pares de pontos que estão em contato. Smith (2006) apresenta que cada um desses pontos possui uma propriedade chamada **surface**, que, por sua vez, possui diversas propriedades relacionadas ao tipo de colisão, tipo de material dos corpos e coeficiente de atrito, descritos a seguir:

- a) **surface.mode**: define como será o processamento dos dados quando ocorrer uma colisão. Recebe o valor da soma lógica das constantes da ODE **dContactBounce**, **dContactSoftCFM** e **dContactSoftERP**. Dessa maneira, a colisão dos pontos de contato considera o coeficiente de restituição do choque e o coeficiente de elasticidade do material, permitindo criar objetos que se deformam momentaneamente durante a colisão;
- b) **surface.mu**: é o coeficiente de atrito μ do modelo de Coulomb. Seu valor é definido para todas as superfícies da cena, de acordo com o valor do atributo **Atrito** salvo no arquivo;
- c) **surface.soft_cfm**: representa o coeficiente de elasticidade dos materiais dos corpos. No aplicativo foi considerado nulo para impedir que os corpos possuíssem alguma deformação elástica durante a colisão;
- d) **surface.soft_erp**: Parâmetro de correção de erros das juntas formadas pelos pontos de colisão, citadas na seção 2.2.2. É utilizado pela ODE para corrigir eventuais quebras das juntas

¹Como citado na seção 2.2.2, a ODE não está restrita a nenhum sistema de unidades. Por conveniência, foi adotado o Sistema Internacional de Unidade para definir o valor da aceleração da gravidade como $9,81 \text{ m/s}^2$, dessa maneira, os valores das dimensões armazenados no arquivo da cena são considerados pertencentes a esse sistema de unidades.

dos pontos de colisão durante o processamento de outros pontos de colisão, de tal maneira a impedir que um corpo ocupe o mesmo lugar no espaço que outro. Foi considerado o valor 0,5 para essa propriedade;

- e) **surface.bounce**: é o coeficiente de restituição, ou seja, a parcela da energia que é transferida da situação antes para depois da colisão. De acordo com o valor armazenado no atributo **TipoDeColisao** o coeficiente de restituição recebe os valores: 0,0 (inelástica), 0,5 (parcialmente elástica) ou 1,0 (perfeitamente elástica);
- f) **surface.bounce_vel**: Velocidade de aproximação mínima que os corpos tem que estar para que seja aplicado um coeficiente de restituição não nulo à colisão entre os pontos. Neste projeto, seu valor é zero.

5.1.3 Interações e restrições de movimento

De modo geral, os alunos podem movimentar um objeto selecionado quando os botões **A** e **B**, fazendo o movimento da pinça com os dedos, são pressionados enquanto o cursor está sobre o elemento. Entretanto, o professor pode desenvolver uma situação em que não seria interessante que um determinado objeto tenha seu movimento livre em todas as direções, assim, ao criar cada um dos objetos, o professor pode aplicar algumas restrições.

Em algumas cenas podem existir elementos auxiliares, como por exemplo, uma mesa servirá de suporte para os demais objetos que realmente fazem parte do experimento. Para evitar que essa mesa se mova durante a simulação, ao elaborar a cena, o professor pode definir o valor lógico **FALSE** no atributo **ODEMove**, de modo que a *engine* ODE não atualizará eventuais mudanças de posição desse objeto, mesmo se houver alguma colisão com outro.

De maneira análoga, o atributo **UserMove** pode ser utilizado para definir quais serão os objetos que o usuário poderá interagir com o cursor 3D. No exemplo citado, não seria conveniente que o aluno movimentasse a mesa que suporta a montagem do experimento.

Esses dois atributos podem possuir qualquer combinação de valores lógicos, uma vez que são independentes entre si.

Em algumas situações é conveniente que o movimento dos objetos pelo usuário não esteja totalmente livre, mas restrito a uma direção ou plano. Assim, o professor pode atribuir valores lógicos aos atributos **MoveX**, **MoveY** e **MoveZ** para cada um dos objetos criados na cena.

Por exemplo, para fazer uma demonstração da colisão unidirecional entre duas esferas sobre uma mesa, a cena pode ser criada com três elementos:

- a) uma mesa imóvel, que servirá como suporte aos demais elementos que fazem parte do experimento. Os atributos **ODEMove** e **UserMove** são definidos como **FALSE**;

- b) uma esfera A em repouso sobre a mesa. Esse objeto fará parte da simulação, mas que não pode ser movimentada pelo cursor 3D, ou seja, o valor **FALSE** deve ser atribuído ao atributo **UserMove**, enquanto que **ODEMove** deve valer **TRUE**;
- c) uma esfera B que o usuário poderá lançá-la contra a esfera A com intuito de estudar colisões. Tanto o atributo **ODEMove** quanto o **UserMove** devem ser **TRUE**.

Com a finalidade de utilizar a simulação gerada pelo objeto de aprendizagem da maneira mais didática possível, é conveniente que o parâmetro **MoveZ** da esfera B esteja desabilitado, de tal maneira que o usuário não lance a esfera para cima, mas somente sobre o plano horizontal da mesa. Deve-se ressaltar que se alguma esfera passar dos limites da mesa, não irá cair pelo bloqueio do movimento fora do plano horizontal. Pode-se contornar a situação modelando a mesa com uma borda mais alta, assim, quando alguma esfera chegar ao final da mesa, irá colidir com essa borda e irá retornar para a região controlada do estudo.

Uma vez que a esfera B só se desloca no plano da mesa, o usuário terá que movimentá-la em direção da esfera A e soltá-la para poder estudar a colisão. Deve-se analisar dois fatores: a esfera B tem que atingir a esfera A e a direção de deslocamento da esfera B deve coincidir com o centro da esfera A para evitar um movimento bidimensional (a esfera A seguindo em uma direção e a B em outra após o choque), além dos efeitos da rotação. Isso pode ser evitado pelo professor ao criar as esferas, posicionando-as, por exemplo, com o mesmo valor no atributo geométrico **Y**. Além disso, deve-se restringir parte do movimento da esfera B , atribuindo o valor **FALSE** ao atributo **MoveX**, fazendo com que o usuário somente possa lançar esse objeto na direção da esfera A , que após a colisão, passará a se deslocar no mesmo sentido do movimento que a esfera B tinha.

5.1.4 Elementos visuais auxiliares

Podem ser adicionados alguns elementos para facilitar a visualização de algumas grandezas relacionadas ao movimento de cada objeto.

Para estudar o movimento dos objetos, é possível ver a trajetória descrita por um objeto que contenha o valor **TRUE** no atributo **MostraRastroSempre** ou **MostraRastroSolto**. No primeiro caso, será desenhada uma linha definida pelas posições do centro do objeto durante toda a execução da simulação. Na segunda situação, o traçado somente será feito após o aluno soltar o objeto (soltando o botão **B** do *Wii Remote*). Se o objeto for novamente controlado pelo cursor 3D, o traçado não será mais desenhado até que seja solto novamente.

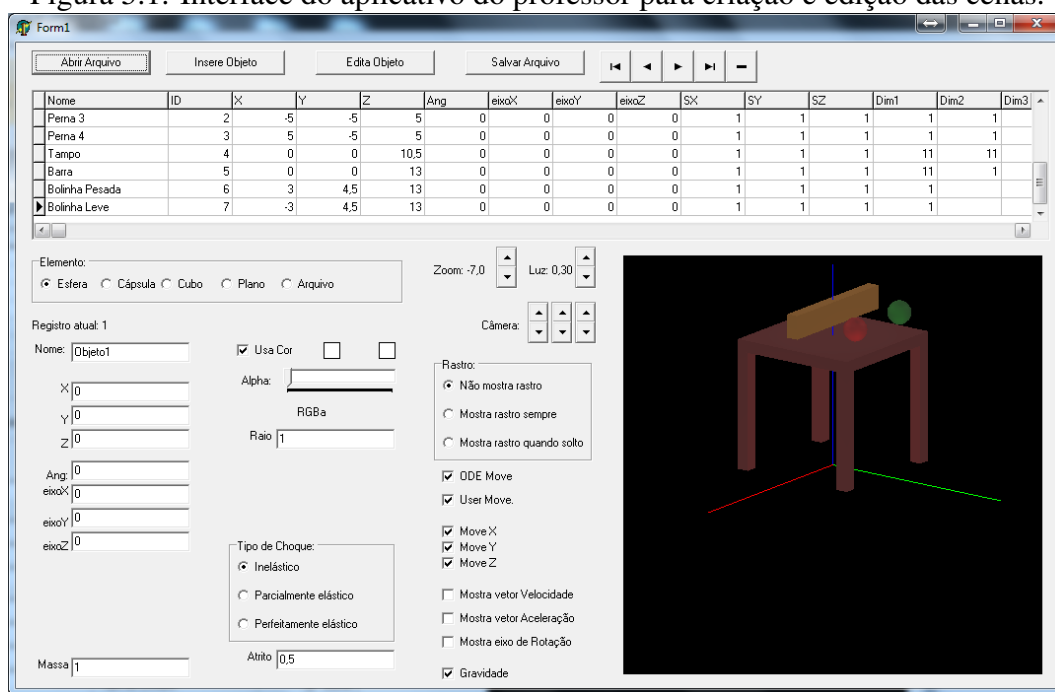
As componentes dos vetores velocidade e aceleração, bem como suas resultantes, também podem ser representadas de acordo com o valor lógico dos atributos **MostraVecV** e **MostraVecA**.

Caso o objeto esteja girando, é possível visualizar o eixo de rotações se o atributo **MostraEixoRot** estiver habilitado.

5.2 Interface com os professores

Para que um professor possa criar, editar e salvar as cenas que serão simuladas pelo aplicativo dos alunos, foi desenvolvido um editor de experimentos interativo. A figura 5.1 mostra a interface deste editor que contém todas as funcionalidades para a inclusão de objetos no arquivo: deve-se notar que existe uma tabela contendo os atributos dos objetos que foram criados, os campos para inserção dos dados, uma janelas de representação gráfica do ambiente 3D e os botões para inserir e remover objetos da cena, bem como abrir, salvar o arquivo.

Figura 5.1: Interface do aplicativo do professor para criação e edição das cenas.



Fonte: o autor.

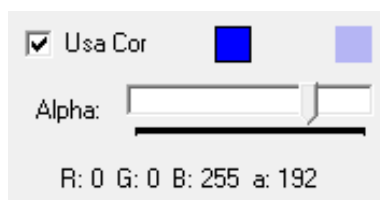
Quando o aplicativo é executado, o professor pode iniciar a inserção dos objetos, um a um. Para tal, o primeiro passo consiste em verificar os atributos globais, selecionando o tipo da colisão, se a gravidade estará habilitada ou não, bem como o valor do coeficiente de atrito entre as superfícies dos objetos, uma vez que esses valores serão os mesmos para todos os objetos.

Em seguida, deve indicar qual é o tipo do objeto que será inserido, seja um dos elementos primitivos da ODE (esfera, cápsula, paralelepípedo, plano) ou modelos tridimensionais confeccionados em aplicativos comerciais, salvos no formato OBJ e interpretados pela ODE como uma malha triangular.

Deve-se notar que existem espaços para que o professor digite a massa e as informações dos atributos geométricos. De acordo com a opção escolhida para o tipo de objeto, novos campos podem ser exibidos para que o usuário digite os valores dos seus atributos. Por exemplo, se o usuário selecionar a opção cápsula, será exibida uma caixa para entrada do valor da distância entre os centros de suas semi-esferas, abaixo do local em que se digita o raio.

Caso o usuário queira escolher uma cor para ser aplicada em todo o objeto, ele deve clicar sobre qualquer um dos quadrados coloridos ao lado da caixa de seleção de uso de cores apresentado na figura 5.1 e detalhado na figura 5.2.

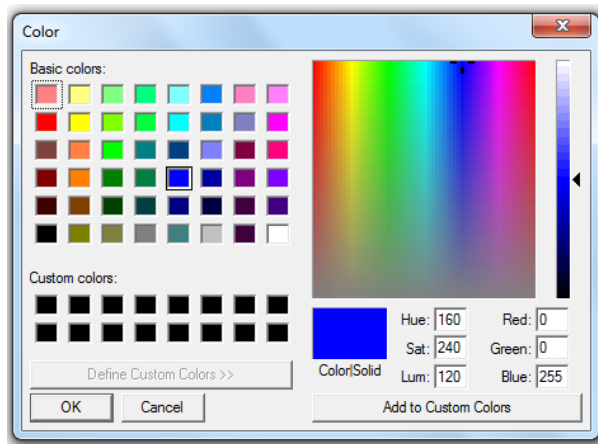
Figura 5.2: Interface para definição da cor do objeto, composta pelas componentes vermelho, verde e azul, bem como a transparência.



Fonte: o autor.

Ao clicar sobre o quadrado, será exibida uma janela apresentada na figura 5.3 para seleção da cor. É possível escolher a cor clicando sobre alguma das cores predefinidas do lado esquerdo da janela, selecionando um ponto do gradiente de cores com o *mouse*, digitando os valores de matiz, saturação e luminosidade (*Hue*, *Sat* e *Lum*) ou digitando os valores referentes às componentes vermelho, verde e azul (*Red*, *Green* e *Blue*). Ao clicar sobre o botão **OK**, a cor selecionada será apresentada no quadrado da esquerda da figura 5.2.

Figura 5.3: Interface para seleção da cor do objeto. O usuário pode selecionar uma cor predefinida, escolher visualmente na paleta ou atribuir valores no sistema RGB ou HSL.



Fonte: o autor.

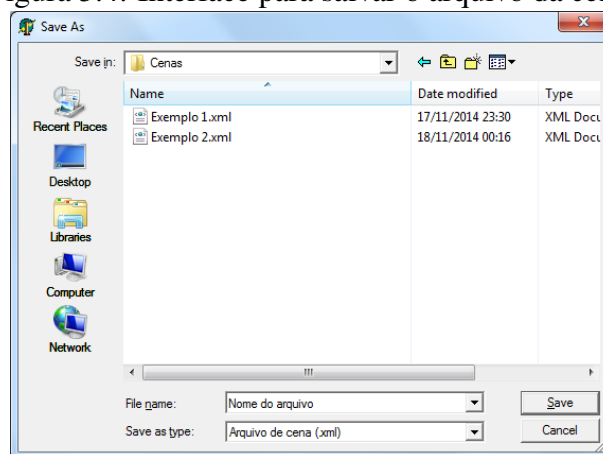
O professor pode alterar a componente da transparência da cor, movimentando a barra horizontal da figura 5.2, sendo que totalmente à esquerda representa um objeto opaco enquanto que totalmente à direita transparente. O quadrado da direita mostra uma prévia do efeito.

Os atributos referentes à restrição de movimento e exibição de elementos auxiliares podem ser definidos pelo clique do *mouse* sobre cada um dos itens.

Com todos os atributos devidamente preenchidos, o professor pode clicar sobre o botão **Inserir Objeto**. O atributo **ID** é calculado automaticamente, indexando cada objeto inserido com um número inteiro, iniciando em zero e os atributos serão apresentados sob a forma de tabela (abaixo dos botões de navegação). Além disso, o objeto passa a ser visualizado na janela do canto inferior direito e o professor pode usar os controle de mudança de escala e posição de câmera para visualizar a cena por outros pontos de vista.

Esse procedimento deve ser feito para todos os elementos que o professor deseja incluir na cena. Ao término, deve-se clicar sobre o botão **Salvar Arquivo**. A janela da figura 5.4 será exibida para que o professor digite o nome do arquivo e escolha a pasta onde será salvo. A extensão do arquivo é previamente definida como XML.

Figura 5.4: Interface para salvar o arquivo da cena.



Fonte: o autor.

Além da criação das cenas, o professor pode abrir um arquivo criado previamente (ao clicar sobre o botão **Abrir Arquivo** uma janela semelhante a da figura 5.4 será exibida para que o arquivo seja aberto). A cena aberta será exibida na janela de visualização, no canto inferior direito da figura 5.1, e cada linha da tabela irá apresentar os atributos de um objeto.

Para excluir um objeto, deve-se utilizar os botões de navegação para que a seta que aparece do lado esquerdo da tabela aponte para a linha do objeto que será excluído. O professor deve clicar no botão “-”, ao lado dos botões de navegação, para eliminar o elemento da cena.

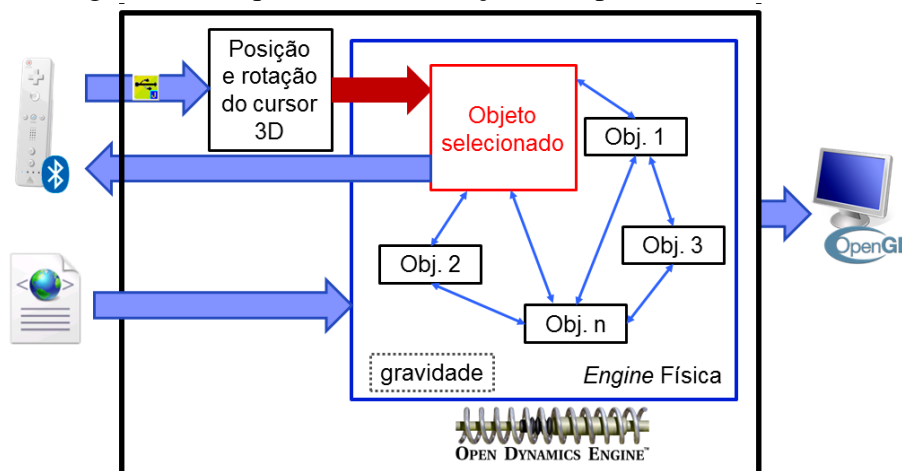
Caso o professor deseje alterar algum parâmetro do objeto, deve selecioná-lo, alterando a posição

da seta da tabela de objetos, alterar o valor do atributo no mesmo local em que foi definido durante a criação do objeto e clicar sobre o botão **Edita Objeto**. Assim o valor será substituído no atributo, sem que seja criado um novo elemento na cena. As edições dos atributos devem ser salvas utilizando o botão **Salvar Arquivo**.

5.3 Interface com os alunos

O aplicativo para os alunos realizarem as simulações integra os elementos apresentados até este ponto: o uso de controle *Wii Remote* para manipulação de objetos, a leitura dos objetos de uma cena armazenado no arquivo XML pelo componente **ClientDataSet** e o uso da *engine* Física para a realização das simulações. A figura 5.5 mostra a arquitetura das interações feitas pelo usuário e entre os objetos.

Figura 5.5: Arquitetura de interações do aplicativo dos alunos.

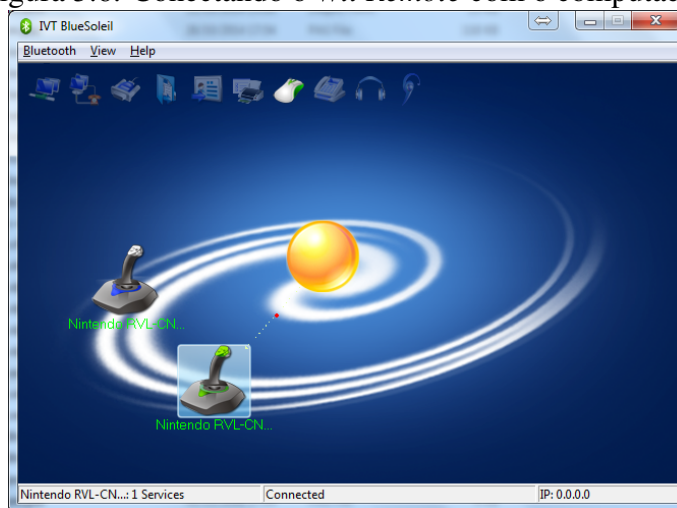


Fonte: o autor.

5.3.1 Conexão entre o *Wii Remote* e o computador

Conforme apresentado na seção 2.3.1, o *Wii Remote* transmite as informações utilizando o protocolo *Bluetooth*. Assim, antes do aluno executar o aplicativo para simulações, é necessário estabelecer uma conexão entre o controle e o computador. A figura 5.6 mostra a conexão estabelecida entre os dispositivos.

Uma vez que a conexão foi estabelecida, o aluno pode executar o aplicativo, que verificará se a conexão realmente foi estabelecida e, em caso negativo, informará ao usuário que o controle *Wii Remote* não poderá ser utilizado como controle do cursor na aplicação.

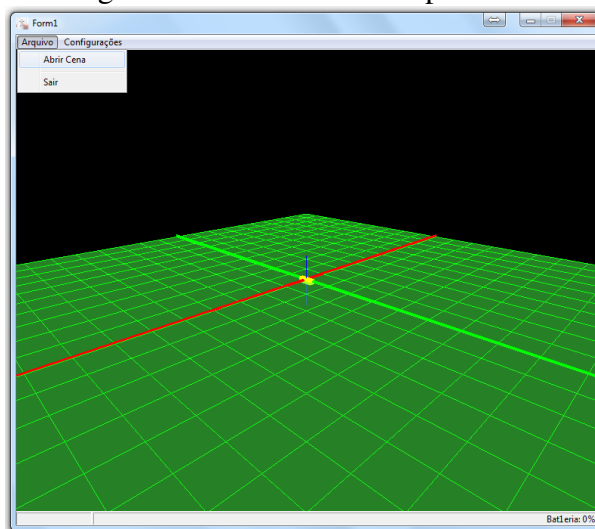
Figura 5.6: Conectando o *Wii Remote* com o computador.

Fonte: o autor.

5.3.2 Abertura de arquivos de cenas

Para que o aluno possa abrir uma cena criada pelo professor, ele deve clicar no menu **Arquivo** e, em seguida, **Abrir Cena**, como apresentado na figura 5.7. É exibida uma janela, semelhante a da figura 5.4, com a pasta padrão com os arquivos da cena, no formato XML.

Figura 5.7: Tela inicial do aplicativo.



Fonte: o autor.

Após a escolha do arquivo, o aplicativo faz a leitura dos dados pelo componente **ClientDataSet** e cria uma estrutura de dados dinâmica para armazenar os atributos dos objetos.

Nos casos em que o objeto corresponde a um dos primitivos da ODE, somente as dimensões

Dim1, **Dim2**, **Dim3** e **Dim4** do quadro 5.2, são armazenadas na estrutura de dados e no momento em que tiverem que ser desenhados pela biblioteca OpenGL, serão evocadas as rotinas apropriadas. Entretanto, se o tipo do objeto for uma malha triangular, será feita a leitura, de fato, do arquivo OBJ que contém o modelo 3D. As características da geometria do modelo, como coordenadas dos vértices, vetores normais e materiais são transferidas para a memória do computador para que, no momento da exibição, seja chamada uma rotina que desenha esse tipo de geometria.

Essa estrutura de dados é utilizada para que o aplicativo tenha um gerenciamento dos dados da cena e, principalmente, forneça subsídios para que a biblioteca OpenGL possa renderizar os objetos de interesse. Entretanto, os dados também devem ser passados para a biblioteca ODE, assim, para cada elemento que a estrutura de dados armazena é necessário instanciar um objeto, de tipo correspondente ao que foi criado, e preencher suas propriedades com os atributos da tabela do banco de dados.

Além disso, é verificado se o atributo **TemGravidade** está habilitado e, em caso positivo, é definido o vetor da aceleração da gravidade para a ODE como sendo $(0; 0; -9,81)$, caso contrário, será $(0; 0; 0)$.

5.3.3 Simulação e visualização

A partir do momento em que a estrutura de dados que contém todos os objetos é carregada, um componente do Delphi denominado **Timer** é habilitado e começará a, repetidamente, executar um método que é responsável pela realização das tarefas que são necessárias para gerar cada novo *frame* da simulação. Esse método tem seus principais passos apresentados no algoritmo 2 e detalhados nas seções a seguir.

Algoritmo 2 - *Loop* principal para gerar cada *frame*.

- A ODE atualiza as informações referente às propriedades físicas dos objetos da cena. Para isso, também são verificadas as colisões entre os corpos para que sejam calculadas as forças de reação que impedirão que os corpos ocupem o mesmo lugar no espaço;
 - é feita a leitura das acelerações do *Wii Remote* e as devidas correções de referencial para que o movimento seja ajustado ao ponto de vista do usuário;
 - se o cursor estiver sobre algum objeto, a sua cor é modificada para que o usuário tenha essa realimentação;
 - se o usuário estiver pressionando os botões **A** e **B** enquanto estiver sobre algum objeto destacado no passo anterior, a posição desse objeto passa a ser controlada pelo cursor 3D;
 - todos os objetos da cena, bem como o cursor são renderizados pela biblioteca OpenGL.
-

Processamento dos fenômenos físicos

Um componente **TTimer** executa um método a cada 50 ms que faz a chamada para as rotinas **dSpaceCollide** e **dWorldQuickStep**, que fazem a atualização da ODE, verificando as colisões entre os corpos, bem como a aplicação das leis da Física, respectivamente. A biblioteca armazena em uma variável os pontos que estão em contato com outros pontos e calcula, para cada um deles, a força de reação que deve ser aplicada para evitar que um objeto ocupe o mesmo lugar no espaço que o outro.

Em seguida, a posição, velocidade e rotação de cada um dos objetos é atualizada em função do seu estado anterior, considerando a velocidade que estava no *frame* anterior e as forças que estão sendo aplicadas (inclusive as que foram impostas nos pontos de contato). Após esses cálculos, os pontos de contato encontram-se suficientemente distantes, de tal maneira que as forças de reação impostas nesses pontos de contato sejam eliminadas. É claro que esse deslocamento calculado pode gerar novos pontos de contato em outra região desses corpos, mas serão tratados na próxima iteração.

Para cada objeto é verificado se o professor restringiu algum movimento quando configurou os atributos **MoveX**, **MoveY** e **MoveZ** na criação da cena e, em caso positivo, a instância do objeto na ODE recebe o valor anterior ao cálculo na respectiva coordenada de seu centro, impedindo o movimento nessa direção. Nos casos em que o atributo **ODEMove** foi desabilitado, as três componentes da posição do objeto recebem seu valor do *frame* anterior.

Processamento das interações com o cursor 3D

Após a atualização dos objetos pela ODE é necessário verificar se o usuário está segurando algum objeto e qual será sua nova posição em função da mão que controla o *Wii Remote*. Um componente **TTimer** do Delphi dispara um método que faz a amostragem das acelerações do *Wii Remote* a cada 50 ms.

Para cada objeto da estrutura de dados, que não possui restrição devido ao atributo **UserMove**, é feita a verificação se o cursor 3D está em seu interior. Isso é feito verificando se a distância entre o centro do objeto e a posição do cursor 3D é menor do que 80% do tamanho do objeto. Em caso positivo, a cor do objeto será modificada totalmente para azul, ressaltando que foi selecionado pelo cursor.

Em seguida é verificado se algum objeto já está sendo segurado pelo cursor 3D. Caso o usuário esteja segurando os botões **A** e **B**, o objeto (que teve a cor alterada no passo anterior) mais próximo ao cursor será controlado pela sua posição. Deve-se notar que, como apenas o objeto mais próximo ao cursor é selecionado, apenas um objeto por vez será manipulado pelo cursor. Esse objeto selecionado terá o seu movimento descrito segundo o algoritmo 1. Além disso, o movimento só será aplicado às

direções que não possuem nenhuma restrição definida pelo professor nos atributos **MoveX**, **MoveY** e **MoveZ**.

Quando o usuário solta a pinça que faz com os dedos, liberando os botões **A** e **B**, o movimento do objeto deixa de ser controlado pelo cursor e passa a ser calculado novamente pela biblioteca ODE nos próximos *frames*.

Processamento gráfico

A última etapa que ocorre antes de atualizar a imagem do *frame* é enviar todas as novas informações para a biblioteca OpenGL com os seguintes passos:

- a) os *buffers* são limpos para receber a nova cena;
- b) a câmera virtual é posicionada;
- c) para cada um dos objetos é feita uma avaliação do seu tipo (esfera, cápsula, malha triangular etc.) e chamada uma rotina específica para desenhá-los;
- d) é traçado o rastro dos objetos em que essa opção foi assinalada;
- e) o cursor é desenhado na posição que foi calculada;
- f) a cena é enviada para ser desenhada pela OpenGL e visualizada pelo aluno.

5.4 Metodologia da aplicação dos testes

Com o ambiente de simulações físicas implementado e o escopo das simulações definido, pode-se verificar como os conhecimentos dos alunos poderiam ser avaliados, permitindo uma comparação antes e depois do uso da ferramenta proposta. Para tal, foi planejado como seriam os questionários, bem como a dinâmica da atividade, descritos a seguir.

5.4.1 Delimitação do questionário

As 29 questões do questionário do FCI foram analisadas para que fossem selecionadas as que, de alguma maneira, estivessem relacionadas às capacidades do aplicativo desenvolvido. O primeiro passo consistiu em verificar as seis categorias, apresentadas na seção 2.1.2, e eliminar quatro delas por razões mostradas a seguir:

- a) **segunda lei de Newton**: embora esses problemas possam ser simulados no aplicativo, há um problema relacionado à escala da força realizada para mover os objetos virtuais com massa relativamente elevada. Se fosse considerada a massa do controle *Wii Remote*, a força obtida em seu

movimento seria pouco perceptível pelos objetos virtuais com 100 kg. Entretanto, se fosse utilizada a massa do objeto virtual (ainda considerando 100 kg), a força que estaria sendo apresentada na simulação seria impraticável por um ser humano;

- b) **terceira lei de Newton:** uma vez que o controle *Wii Remote* não possui uma base com *force feedback*, não é possível ter um retorno háptico proporcional à força aplicada ao objeto virtual. Além disso, não é possível controlar a frequência nem a intensidade do motor de vibração, ou seja, o aluno teria apenas a noção de ter tocado ou não algum objeto;
- c) **princípio da superposição:** relacionado com a representação visual do problema da escala da força citada no item da Segunda Lei;
- d) **tipos de força:** as subcategorias Fluido e Contato foram eliminadas, em virtude da dificuldade de gerar uma representação gráfica para grandezas como pressão, energia e momento.

As categorias Cinemática e Primeira Lei de Newton, além da subcategoria Gravitação (pertencente à categoria Tipos de Força), foram escolhidas, uma vez que o aplicativo permite traçar o movimento dos corpos, representar as componentes vetoriais da velocidade, além de permitir verificar os efeitos da gravidade.

As questões dessas categorias foram analisadas e nove foram selecionadas, sendo cinco sobre a Primeira Lei de Newton, duas sobre Gravitação e duas sobre Cinemática.

Foram confeccionados dois questionários: o preliminar e o completo. No primeiro caso, foram escolhidas quatro questões das nove selecionadas: uma sobre Cinemática, uma sobre Gravitação e duas sobre a Primeira Lei de Newton, como pode ser visto no Anexo D.2. O segundo questionário, que contempla as quatro questões do questionário preliminar acrescido das outras cinco, está disponível no Anexo D.3.

5.4.2 Ambientes Experimentais

Foram criadas cinco cenas para que os alunos fizessem as simulações. Os alunos receberam as instruções gerais sobre a manipulação dos objetos utilizando o *Wii Remote*, pressionando o botão **A** para mover o cursor e pressionando os botões **A** e **B** para mover os objetos com as cores destacadas pela presença do cursor sobre eles. Além disso, para cada uma das cenas, foram apresentadas algumas possibilidades de interações, bem como sugestões de movimentos, como lançar um objeto, soltando o botão **B** com o cursor em movimento, fazendo com que a posição do objeto passasse a ser controlada pela ODE, com a aplicação das leis da Física e cálculo das reações por colisão com demais componentes da cena.

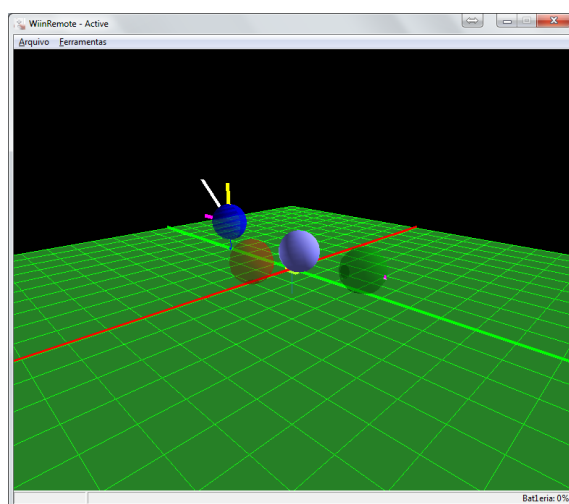
Os arquivos das cinco cenas estão disponíveis no Anexo E.

Cena 1

Esse cenário permite ao aluno verificar que após lançar algum dos corpos, ele manteria uma trajetória retilínea e com velocidade constante, resgatando o subsunçor do explorado na categoria Princípio da Inércia.

Quatro esferas foram distribuídas pelo espaço, sem que a gravidade estivesse habilitada. Os alunos podem manipular os objetos e verificar as colisões entre os corpos. O tipo das colisões foi considerado como parcialmente elástico. Apenas o vetor velocidade e suas componentes são apresentados.

Figura 5.8: Cena do caso 1 - esferas sem gravidade, com representação gráfica dos respectivos vetores velocidade.



Fonte: o autor.

A interação do aluno com essa cena se dá quando o aluno leva o cursor 3D até algum objeto e, pressionando os botões **A** e **B** o segura. Em seguida, pode fazer algum movimento com a mão e, ao soltar o botão **B**, o cursor deixará de controlar a posição o objeto para que a ODE possa mantê-lo em movimento retilíneo até que colida com outro objeto.

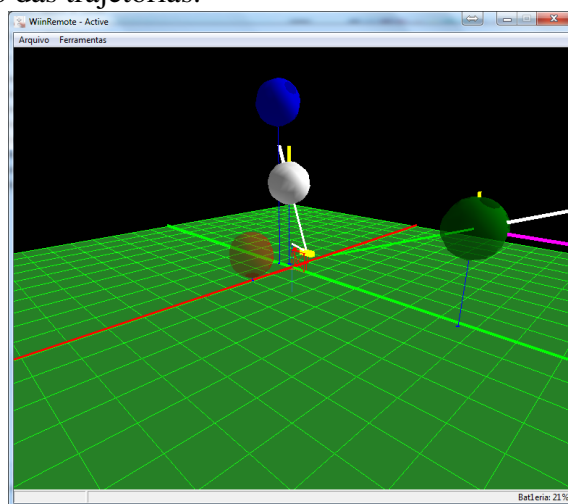
Esta cena pode ser relacionada com a questão **Q3** do questionário inicial, uma vez que o ambiente, assim como a nave da questão, não estão sujeitos à gravidade e seu movimento se dá, após as colisões, somente pela aplicação do princípio da inércia. Além disso, quando o aluno lança algum objeto, após ter feito um movimento curvilíneo com ele, é possível ver a trajetória tangencial após o ponto em que o objeto foi solto, como o esperado na questão **Q2**.

Cena 2

O objetivo dessa cena é permitir ao aluno manipular os objetos para comparar as situações apresentadas nesses dois primeiros exemplos, com e sem o efeito da gravidade.

Novamente quatro esferas foram distribuídas pelo espaço, mas com a gravidade habilitada. Os alunos podem manipular os objetos e verificar as colisões entre os corpos em queda livre. O tipo das colisões foi considerado como parcialmente elástico. O vetor velocidade e a trajetória são exibidos.

Figura 5.9: Cena do caso 2 - esferas com gravidade, com representação gráfica dos respectivos vetores velocidade, além do traçado das trajetórias.



Fonte: o autor.

Esse ambiente possui exatamente os mesmos objetos, dispostos nas mesmas posições da primeira cena. Embora os componentes sejam os mesmos da cena 1, o fato da gravidade estar habilitada permite que o aluno relacione essa cena com as questões **Q1** e **Q4** em que objetos são lançados e devem seguir uma trajetória parabólica até o chão.

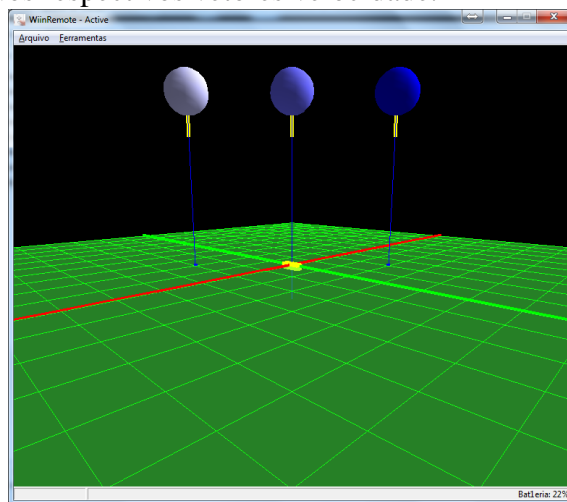
Cena 3

Esta cena está diretamente relacionada ao proposto na questão **Q1**, onde as esferas são soltas de cima de um prédio.

Três esferas de diâmetro idêntico estão posicionadas em uma mesma altura. As esferas possuem massa 1 kg (mais clara), 10 kg e 100 kg (mais escura) e como a gravidade está habilitada, ao início da simulação os alunos podem observar que os corpos começam a cair e tocam o plano horizontal ao mesmo instante, mas após a colisão alcançam alturas diferentes. O tipo das colisões foi considerado como parcialmente elástico.

Mesmo com o usuário podendo manipular os elementos dessa cena, as informações sobre os conceitos são melhor visualizados deixando a simulação acontecer naturalmente até as três esferas entrarem em repouso no chão, ou seja, nessa simulação não há necessidade do alunos interagir com os elementos da cena.

Figura 5.10: Cena do caso 3 - queda livre de três esferas com massas distintas soltas de mesma altura, com representação gráfica dos respectivos vetores velocidade.



Fonte: o autor.

Embora houvesse uma variação nas cores, não havia nenhuma indicação da massa dos objetos. Além disso, o vetor velocidade das esferas vai aumentando sua intensidade durante a queda, mas de maneira equivalente nos três corpos, garantindo que toquem o chão ao mesmo tempo e, em seguida, subam novamente até uma altura menor do que a inicial.

Cena 4

Essa simulação permite verificar que as esferas com massas diferentes tocam o chão ao mesmo instante e à mesma distância da mesa. Assim como na cena anterior, esse ambiente está diretamente ligado à situação descrita pela questão **Q1**.

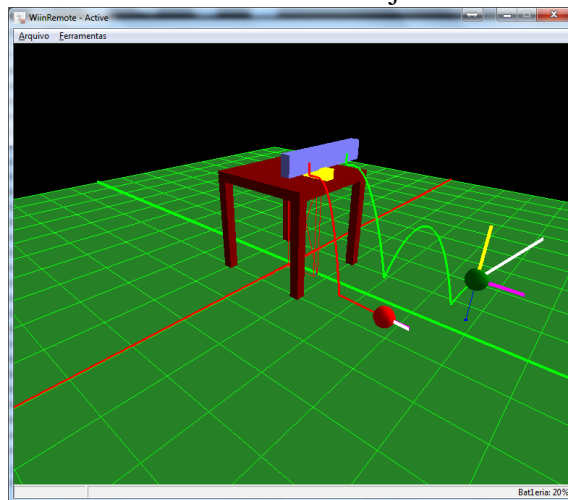
Duas esferas são dispostas sobre uma mesa. As esfera vermelha possui massa 100 kg e a verde 1 kg, enquanto que a barra possui 100 kg. A barra é o único elemento que pode ser manipulado pelo usuário e se move somente na direção das esferas. A barra não está sujeita à ação da gravidade, pois seu atributo **ODEMove** está desabilitado.

A mesa é apenas um elemento auxiliar ao ambiente. Ela não pode ser movimentada pelo usuário nem pela *engine* ODE, uma vez que o professor que a definiu, atribuiu o valor **FALSE** aos atributos **ODEMove** e **UserMove** enquanto criava o arquivo da cena.

As esferas somente são manipuladas pela ODE (**UserMove** definido como **FALSE** e **ODEMove** recebendo **TRUE**), ou seja, embora o aluno não possa “segurá-las” com o cursor 3D, elas sofrem o efeito da colisão parcialmente elástica com a barra movimentada pelo usuário.

Nessa cena, o usuário consegue mover a barra para que ela colida com as esferas com a mesma velocidade, garantido que seus movimentos se iniciem ao mesmo tempo e com as mesmas condições.

Figura 5.11: Cena do caso 4 - esferas lançadas de cima de uma mesa por uma barra controlada pelo cursor 3D. São representados os vetores velocidade e a trajetória das duas esferas.



Fonte: o autor.

Cena 5

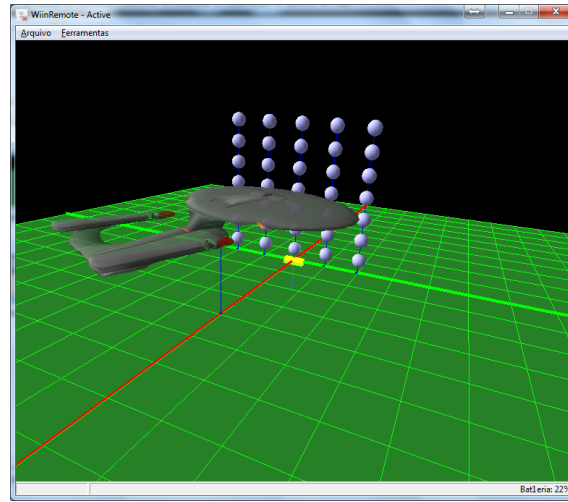
O último exemplo possui os mesmos elementos do primeiro, entretanto contextualizado de maneira semelhante à questão Q3 que os alunos responderam no teste inicial.

Durante a resolução do questionário, antes de fazer a simulação, havia uma questão com um disco voador (representado pelo modelo da nave **Jupiter 2** da série de TV **Perdidos no Espaço**) cujo movimento acontecia pela ação de uma força constante e, após passar por determinado local, tem seus motores desligados. Após essa introdução, a questão solicita ao aluno que responda qual deve ser a característica da velocidade do disco voador após o instante em que seus motores foram desligados.

A cena criada para a simulação contém a nave **Enterprise** da série de TV **Jornada nas Estrelas - A Nova Geração** que pode ser movimentada pelo usuário somente na direção de um campo de 35 esferas distribuídas na forma de uma matriz (7x5 elementos). A interação que o aluno faz com a nave é semelhante a da barra da Cena 4, entretanto, como o atributo **ODEMove** da nave está habilitado, ela continuará seu movimento retilíneo quando o usuário soltar o botão **B**.

O usuário pode lançar o modelo da nave contra o campo de esfera (simulando o efeito de desligar os motores quando solta a nave do cursor 3D). A colisão entre a nave e as esferas (além das colisões entre esferas e esferas e de outras esferas com a nave) fará com que a nave se movimente pelo espaço indefinidamente quando terminarem as colisões. O tipo das colisões foi considerado como parcialmente elástico. Como a trajetória da nave é traçada, os alunos podem verificar que o movimento é retilíneo, como esperado na situação descrita pela questão **Q3**. Além disso, o vetor velocidade e suas componentes estão representados, permitindo verificar que embora haja movimento, a velocidade é constante e que nenhuma força está sendo aplicada à nave.

Figura 5.12: Cena do caso 5 - campo de esferas e nave que pode ser lançada contra as esferas pelo cursor 3D.



Fonte: o autor.

5.4.3 Protocolo de aplicação

A aplicação do experimento com os alunos acontece em dois dias distintos, sendo que no primeiro dia os alunos realizam as tarefas descritas no roteiro do Anexo B e no segundo dia é conduzido um reteste para avaliar o grau de retenção de conhecimentos, como mostra o diagrama da figura 5.13.

Figura 5.13: Cronograma de aplicação.

Aplicação do Questionário Pré (4 questões)	Alunos utilizam o <i>Wii Remote</i> no aplicativo	Aplicação do Questionário Pós (9 questões)	Intervalo de uma semana	Nova aplicação do Questionário Reteste (9 questões)
Dia 1				Dia 2

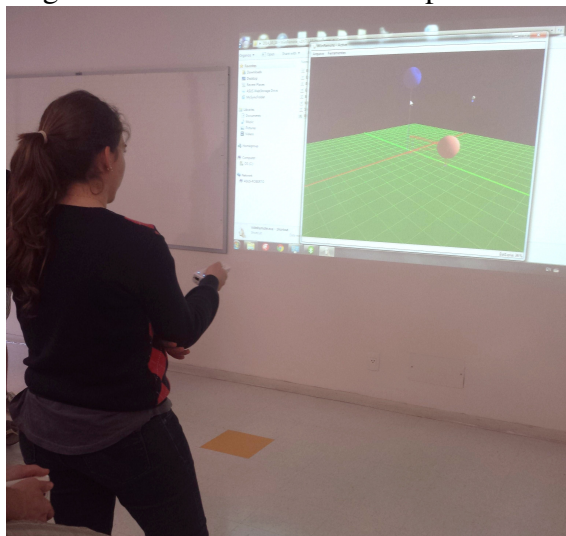
Fonte: O autor.

Inicialmente os alunos responderam ao questionário que contém as quatro questões e, em seguida, eram convidados a utilizar o *Wii Remote* no aplicativo de maneira livre, como apresentado na figura 5.14, com intuito de se familiarizar com a manipulação do cursor 3D.

Quando se declaravam aptos ao uso da ferramenta, o roteiro indicava que deveriam abrir cada uma das cenas disponibilizadas na pasta. As cenas foram criadas de maneira a estarem relacionadas com a questões respondidas inicialmente.

Em todas as cenas, os alunos foram divididos em dois grupos, sendo que um deles utilizou o *Wii Remote* com o recurso da reação háptica quando o usuário segura um objeto virtual habilitada e outro com essa funcionalidade desabilitada.

Figura 5.14: Aluna durante o experimento.



Fonte: o autor.

Após esse momento de experimentação, os alunos foram convidados a responder ao questionário completo com intuito de verificar se os eventuais erros que ocorreram no questionário preliminar foram eliminados, além de verificar se o aluno consegue estender os conceitos para novas situações, ainda relacionadas aos assuntos.

Uma semana após a aplicação dos testes, os mesmos alunos foram novamente convidados a responderem ao questionário completo, com intuito de se observar se houve retenção dos conceitos observados durante a experimentação. Durante o segundo dia o aluno não teve contato com o aplicativo.

5.5 Verificação do aprendizado

Esta seção apresenta os resultados obtidos dos testes **Pré**, **Pós** e **Reteste**, descritos na seção 5.4.3, e respondidos pelos alunos que participaram do experimento.

Além da análise demográfica dos participantes, esta seção apresentará os resultados desses três testes comparando-os dois a dois de maneira a poder se analisar três pontos considerados importantes para esse estudo:

- aprendizado pela repetição:** são comparados os resultados das quatro questões comuns aos testes **Pré** e **Pós**, uma vez que, além de serem um parâmetro constante nas duas avaliações, estão diretamente relacionadas às situações de exemplo que os alunos puderam simular durante o experimento;

- b) **aprendizado para novas situações:** uma nova análise é feita com os testes **Pré** e **Pós**, porém verificando a totalidade das suas questões, de tal maneira a avaliar se os alunos conseguiram avaliar as novas situações propostas e estender os conceitos vistos no aplicativo. Além disso, são apresentados os ganhos para cada uma das categorias das questões, citadas na seção 5.4.1, presentes nos testes;
- c) **retenção de conhecimento:** foram comparados os resultados dos testes **Pós** e **Reteste** para verificar se o ambiente virtual permitiu que os conceitos simulados fossem registrados de maneira efetiva, mesmo uma semana após o experimento.

5.5.1 Perfil demográfico dos alunos

Foram submetidas aos testes 49 pessoas, das quais somente 47 serão consideradas membros do universo amostral, pois participaram de todas as atividades da etapa (questionário **Pré**, uso do ambiente desenvolvido, questionário completo **Pós** e novamente o questionário completo em um **Reteste**). Esses alunos são 33 homens e 14 mulheres com média de idade entre 20 e 21 anos. Sendo 44,7% matriculados na primeira série do Ciclo Básico (comum a todas as Engenharias) e 55,3% matriculados na segunda série do curso de Engenharia Elétrica.

Os alunos foram divididos em dois grupos, sendo que para 27 pessoas a reação háptica estava habilitado quando um objeto era movido e para o grupo de controle com 20 pessoas o *Wii Remote* não vibrou durante o experimento.

5.5.2 Verificação do aprendizado por repetição

Esta seção apresenta os resultados das análises realizadas com as quatro questões do questionário **Pré** (aplicado antes dos alunos utilizarem a ferramenta desenvolvida) e as mesmas questões do questionário **Pós** (realizado imediatamente após a experimentação do ambiente de simulações), ou seja, o que foi realizado no **Dia 1**, como visto na tabela 5.13.

Quando o questionário **Pós** foi confeccionado as quatro questões do questionário **Pré** foram distribuídas em uma nova ordem, assim, as questões 1, 2, 3 e 4 foram alocadas na ordem 2, 7, 8 e 9, respectivamente.

De modo a simplificar a correlação das questões neste texto, as questões serão identificadas por Q1, Q2, Q3 e Q4 para os dois questionários, assim, por exemplo, o termo Q2 corresponde a questão 2 realizada antes do experimento e também a questão 7 respondida no segundo teste. Caso seja necessário diferenciar o momento em que as questões foram aplicadas, será utilizado um sufixo, por exemplo, Q2_Pré ou Q2_Pós.

Sabe-se ainda que as questões pertencem aos seguintes grupos de assuntos:

- a) **Q1:** Leis da Gravitação;
- b) **Q2:** Primeira Lei de Newton;
- c) **Q3:** Primeira Lei de Newton;
- d) **Q4:** Cinemática.

As análises estatísticas desta seção foram divididas em duas vertentes: (a) trabalhando com as variáveis de forma qualitativa (considerando os resultados das questões como certo ou errado) para analisar a evolução dos alunos ao utilizarem o ambiente e (b) analisando os dados de forma quantitativa (utilizando o total de acertos do questionário) como uma tentativa para avaliar a efetividade do uso da reação háptica do *Wii Remote* no ambiente de ensino.

Análise Qualitativa

Inicialmente foram comparadas as respostas das questões Q1_Pré, Q2_Pré, Q3_Pré e Q4_Pré com seus pares Q1_Pós, Q2_Pós, Q3_Pós e Q4_Pós qualitativamente, considerando apenas dois níveis: **certo** ou **errado**. Os resultados das análises de cada questão são apresentados nas tabelas de 5.1 a 5.4 e mostram o número de pessoas que acertaram ou erraram a mesma questão antes e depois de utilizarem o aplicativo desenvolvido no projeto.

Pode-se observar na tabela 5.1 que seis usuários apresentaram melhora no desempenho na questão Q1. Desses voluntários dois pertencem ao grupo de controle e quatro sentiram a resposta háptica. Essa evolução representa uma melhora estatisticamente significativa, pelo teste de McNemar ($p\text{-valor}=0,041$), apresentado na seção 3.2.3.

Tabela 5.1: Comparação do desempenho dos usuários em Q1_Pré e Q1_Pós.

		Q1_Pós		Total
		Errado	Certo	
Q1_Pré	Errado	0	6	6
	Certo	0	41	41
Total		0	47	47

Fonte: O autor.

Na questão Q2 percebe-se que três alunos, todos tiveram a resposta háptica do *Wii Remote*, aumentaram seus acertos ao comparar os instantes **Pré** e **Pós**. Porém, essa melhora não representa um resultado significativo do ponto de vista estatístico ($p\text{-valor}=0,25$), ou seja, a melhora no resultado observado pode ser considerado fruto do acaso.

Tabela 5.2: Comparação do desempenho dos usuários em Q2_Pré e Q2_Pós.

		Q2_Pós		Total
		Errado	Certo	
Q2_Pré	Errado	1	3	4
	Certo	0	43	43
Total		1	46	47

Fonte: O autor.

A tabela 5.3 apresenta os resultados da questão Q3 e mostra oito usuários que inicialmente erraram e depois passaram a acertar, sendo que metade pertencente ao grupo de controle. Essa melhora dos resultados é significativa do ponto de vista estatístico ($p\text{-valor}=0,013$).

Tabela 5.3: Comparação do desempenho dos usuários em Q3_Pré e Q3_Pós.

		Q3_Pós		Total
		Errado	Certo	
Q3_Pré	Errado	0	8	8
	Certo	0	39	39
Total		0	47	47

Fonte: O autor.

Os resultados da questão Q4 são apresentados na tabela 5.4 e observa-se que quatro alunos, três dos quais usaram o controle com resposta háptica, melhoraram o número de acertos após utilizar o ambiente. Entretanto, essa melhora não representa resultado estatisticamente significativo ($p\text{-valor}=0,125$).

Tabela 5.4: Comparação do desempenho dos usuários em Q4_Pré e Q4_Pós.

		Q4_Pós		Total
		Errado	Certo	
Q4_Pré	Errado	10	4	14
	Certo	0	33	33
Total		10	37	47

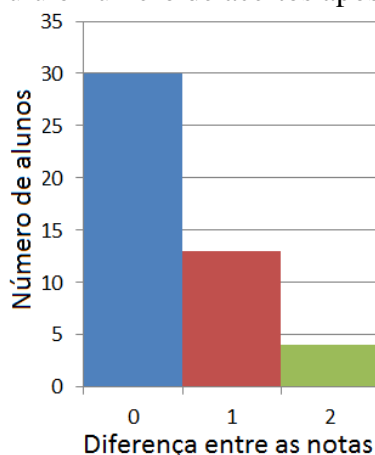
Fonte: O autor.

Para essa questão houve uma quantidade de alunos errando acima do padrão observado nas demais questões, mesmo diminuindo de 14 para 10 pessoas que a responderam de forma incorreta. Não se

pode afirmar, mas o tema relacionado à cinemática da questão pareceu ser um assunto que os alunos possuem menor domínio e, além disso, durante a aplicação dos questionário, pode-se notar murmúrios entre os alunos sobre dúvidas em relação à trajetória solicitada na questão.

Ao analisar todas as questões dos dois testes, observou-se que todos os alunos não pioraram seus resultados. O histograma da figura 5.15 mostra a diferença de acertos do teste **Pós**, quando comparado ao **Pré**, indicando que para as situações de aprendizado por repetição de tarefas a maioria dos alunos manteve a nota, 13 alunos acertaram uma questão a mais no segundo teste e 4 alunos acertaram duas questões a mais no teste **Pós**. Pode-se observar que nenhum aluno diminuiu o número de acertos após utilizar a ferramenta.

Figura 5.15: Histograma com a diferença entre o número de acertos do teste **Pós** em relação ao **Pré** indicando que nenhum aluno diminuiu o número de acertos após utilizar a ferramenta.



Fonte: o autor.

De maneira geral, observou-se que muitos usuários acertaram as quatro questões o que pode ser um indicativo do grande número de pessoas que não aumentaram a nota entre os testes, como mostrado na figura 5.15. E, estatisticamente, existe uma diferença significativa na resposta média entre as avaliações **Pré** e **Pós** ($p\text{-valor} \approx 0$), permitindo verificar que após o uso do ambiente para simulações, em média, os usuários apresentaram um aumento na pontuação de acertos como mostra a tabela 5.5.

Relevância da Resposta Háptica

Para avaliar se a resposta háptica do *Wii Remote* contribuiu para os acertos das questões, foram feitas as análises comparando a pontuação total de acertos das quatro questões comuns no **Pré** e no **Pós**. Nessa análise quantitativa, apresentada na tabela 5.5, a pontuação média do total de acertos (valores entre 0 e 4) é comparada entre os dois instantes de avaliação e entre os grupos de controle e

o de usuários que usaram o *Wii Remote* com a resposta háptica habilitada.

Tabela 5.5: Estatísticas descritivas do total de acertos das questões Q1, Q2, Q3 e Q4, divididas de acordo com uso da reação háptica para os testes aplicados antes e depois dos alunos fazerem as simulações.

Questionário	Háptico	Estatística	
Pré	Não	Média	3,40
		Mediana	3,50
		Desv. Pad.	0,681
	Sim	Média	3,26
		Mediana	3,00
		Desv. Pad.	0,813
Pós	Não	Média	3,75
		Mediana	4,00
		Desv. Pad.	0,444
	Sim	Média	3,78
		Mediana	4,00
		Desv. Pad.	0,424

Fonte: O autor.

Observa-se que há um maior ganho na diferença entre a média das notas do grupo que sentiu o efeito háptico (0,52 pontos) a média do grupo de controle (0,35 pontos). O mesmo se observa na diferença entre as medianas, cujo aumento no grupo com reação háptica foi de 1,0 ponto, enquanto que no grupo de controle o aumento foi de 0,5 ponto. Entretanto, esses aumentos não se mostraram significativos, sob o ponto de vista estatisticamente, pois a partir de uma análise de variância, apresentada na seção 3.2.3, com dois fatores (**Questionário**, com dois níveis: **Pré** e **Pós** e **Háptico**, com dois níveis: sim e não) verificou-se que não se pode afirmar que o efeito do fator **Háptico** na variável resposta é significativo ($p\text{-valor}=0,717$). O cálculo do tamanho de efeito mostra que há um pequeno efeito da variável que representa o fator háptico ($d=0,064$) quando analisadas as médias do testes **Pós** dos dois grupos.

Com base nesses resultados, a variável que representa a reação háptica foi eliminada das análises seguintes. Isso gerou um problema: o grupo de controle que era constituído pelos usuários que fizeram as simulações sem a reação háptica foi perdido. Dessa maneira, os resultados apresentados a seguir não contém a comparação entre os dois grupos, mas somente as diferenças entre os testes, em um primeiro momento, com todas as questões dos testes **Pré** e **Pós** (para verificar como os alunos se comportaram ao se apresentarem novas questões relacionadas às simulações) e, em seguida, a comparação entre os testes **Pós** e **Reteste** (para verificar a retenção do aprendizado após uma semana do experimento).

5.5.3 Verificação do aprendizado para novas situações propostas

Esta seção apresenta os resultados das análises realizadas, considerando as quatro questões do questionário **Pré** e as nove do questionário completo **Pós**, aplicados imediatamente antes e depois da experimentação do ambiente pelos alunos. Essa comparação tem por objetivo verificar se o ambiente proposto facilitou aos alunos avaliar as novas questões, relacionando-as com as do primeiro teste e com as cenas simuladas no aplicativo.

Para comparar o desempenho dos usuários antes e depois do uso do ambiente de simulações física, não foi considerado o total absoluto de acertos, mas o percentual dos acertos nos dois questionários, uma vez que o número de questões nos questionários **Pré** e **Pós** são diferentes.

Na tabela 5.6 são apresentadas algumas medidas resumo do desempenho percentual dos questionários. Em média, há uma discreta diminuição no desempenho percentual (83% para 81,3%). Em termos medianos, observa-se um leve aumento no desempenho percentual do **Pré** para o **Pós** (75% para 78%). O tamanho do efeito da comparação entre o desempenho percentual se mostra como pequeno ($d=0,115$). Pelo teste *t-Student* pareado, não existe diferença estatisticamente significativa ($p\text{-valor}=0,514$). Essa comparação realizada pelo teste não-paramétrico de Wilcoxon, citado na seção 3.2.3, também não mostra diferença significante ($p\text{-valor}=0,463$).

Tabela 5.6: Estatísticas descritivas do percentual total de acertos nos questionários **Pré** e **Pós**.

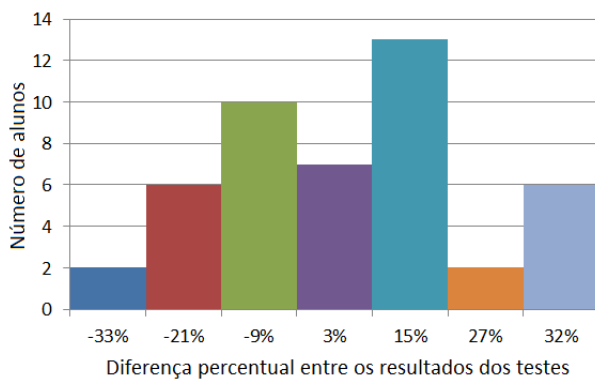
Questionário	Estatística	
Pré	Média	83,0%
	Mediana	75,0%
	Desv. Pad.	18,9%
Pós	Média	81,3%
	Mediana	78,0%
	Desv. Pad.	11,0%

Fonte: o autor.

A figura 5.16 apresenta o histograma com a distribuição dos ganhos percentuais obtidos pela diferença do percentual da nota do teste **Pós** em relação ao percentual da nota do teste **Pré**. Pode-se observar pela simetria da distribuição que a quantidade de pessoas que aumentaram ou diminuíram a nota na avaliação são aproximadamente iguais, com uma leve concentração para o lado positivo.

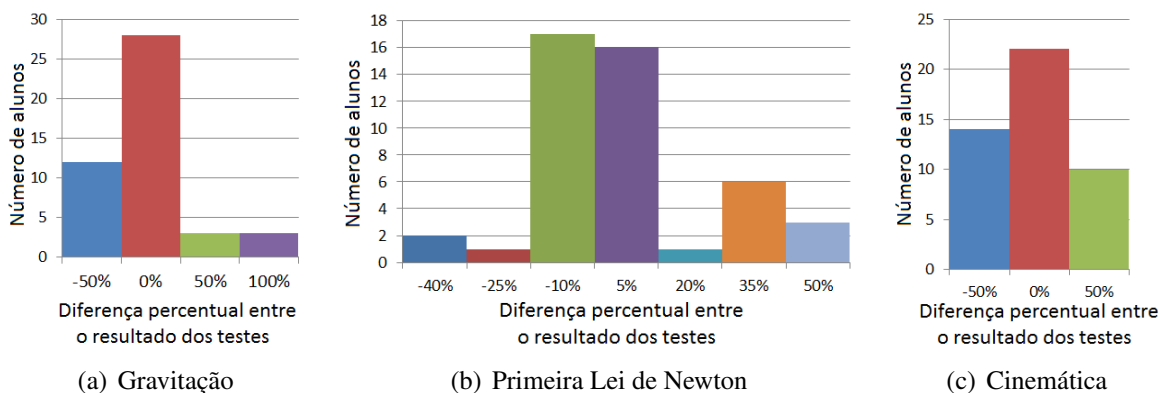
A figura 5.17 apresenta os dados representados pela figura 5.16 classificados de acordo com a categoria das questões. Esses histogramas mostram um aumento do número de pessoas que pioraram o desempenho sobre Gravitação, assim como houve uma leve melhoria nas notas das questões que tratavam da Primeira Lei de Newton.

Figura 5.16: Histograma com o ganho percentual de acertos do teste **Pós** em relação ao **Pré**. A distribuição mostra um número equivalente de alunos que aumentaram e diminuíram as notas após o uso do ambiente



Fonte: o autor.

Figura 5.17: Histogramas com o ganhos percentuais de acertos do teste **Pós** em relação ao **Pré**, separados por categorias das questões.



Fonte: o autor.

5.5.4 Verificação da retenção do conhecimento

Como o mesmo questionário foi utilizado em momentos diferentes, será utilizada a pontuação total (entre 0 e 9 pontos) dos questionários **Pós** e **Reteste** para avaliação da retenção dos conhecimentos após uma semana.

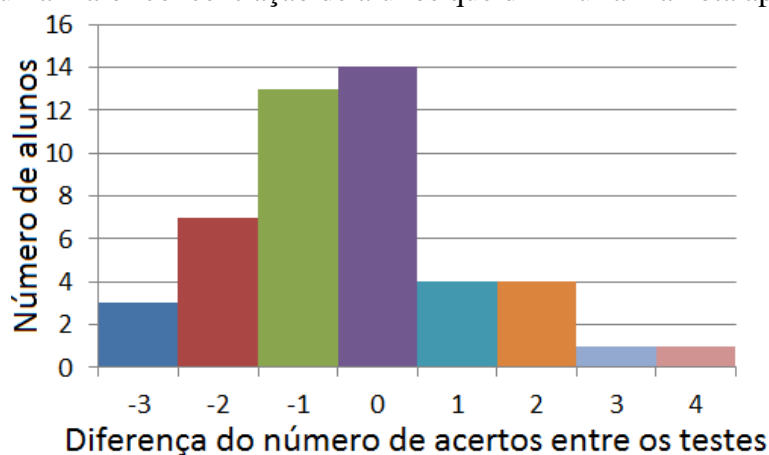
A tabela 5.7 mostra que, em média, há uma queda de 0,4 pontos entre os dois questionários (com desvio padrão de aproximadamente 1 ponto). A pontuação mediana é equivalente nos dois momentos. Porém, o teste estatístico indica uma diferença significativa ($p\text{-valor} = 0,012$, pelo teste *t-Student* pareado). Quando feito um teste não paramétrico (Wilcoxon, em que não são comparadas as médias) obtém-se a mesma conclusão ($p\text{-valor}=0,012$). O tamanho do efeito dessa semana que separou os dois testes é moderado ($d=0,346$).

Tabela 5.7: Estatísticas descritivas da soma total de acertos nos questionários **Pós** e **Reteste**.

Questionário	Estatística	
Pós	Média	7,3
	Mediana	7,0
	Desv. Pad.	1,0
Reteste	Média	6,9
	Mediana	7,0
	Desv. Pad.	1,1

Fonte: o autor.

A figura 5.18 apresenta o histograma da distribuição dos ganhos das pontuações absolutas do teste **Reteste** em relação ao teste **Pós**. Pode-se observar que há um maior número de pessoas cujo desempenho foi pior. Entretanto, sob o ponto de vista absoluto da avaliação, a redução de 0,4 pontos apresenta uma queda pequena (aproximadamente 4,44%), ou seja, a diferença é menor do o valor percentual de uma questão em um questionário com nove perguntas.

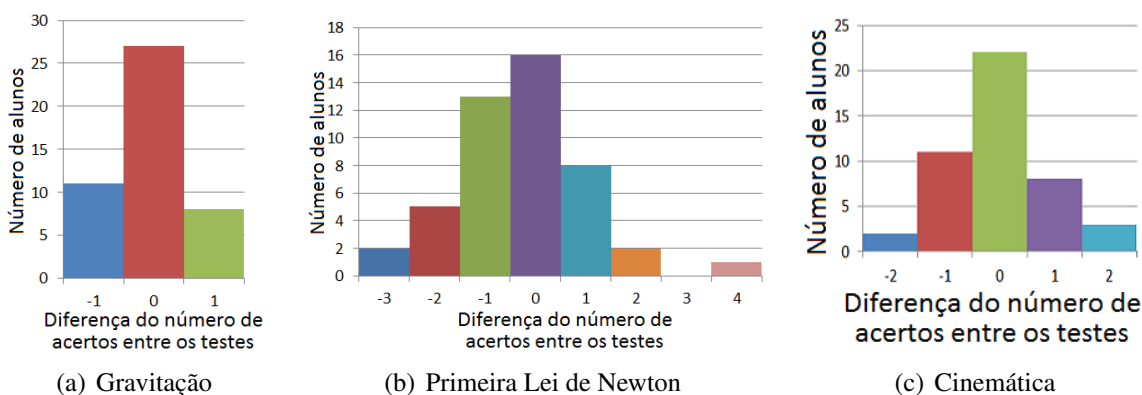
Figura 5.18: Histograma com a diferença absoluta entre o número de acertos do teste **Reteste** em relação ao **Pós**. Há uma maior concentração de alunos que diminuíram a nota após uma semana.

Fonte: o autor.

Além disso, a diminuição é esperada, pois a maioria das pessoas mantiveram o conhecimento que relataram no teste **Pós** e, de fato, não se espera que os alunos melhorem o desempenho depois de uma semana.

Pode-se observar na figura 5.19 que dentro de cada categoria há equivalência entre o número de pessoas que aumentaram ou diminuíram suas pontuações após uma semana.

Figura 5.19: Histograma com a diferença absoluta entre o número de acertos do teste **Reteste** em relação ao **Pós**, separados por categorias das questões.



Fonte: o autor.

5.5.5 Considerações sobre os resultados

A partir dos resultados da avaliação das questões comuns aos questionários **Pré** e **Pós**, pode-se observar que o ambiente atende ao primeiro quesito apresentado na seção 5.5. Assim, o seu uso pode ser intensificado nos momentos em que se faz uso do aprendizado pela repetição de tarefas, variando alguns parâmetros entre uma simulação e outra, mas mantendo o foco no que está sendo apresentado.

Nas questões complementares do teste **Pós** o desempenho dos alunos se mostrou pior do que somente nas questões comuns aos dois testes (e com forte coesão com as simulações), indicando que o ambiente não parece contribuir muito nas situações em que o aluno deve analisar uma nova situação, mesmo com o tema relacionado com o exemplo apresentado no ambiente interativo.

Deve-se ressaltar que não foi realizada uma comparação do uso do ambiente com outras técnicas de ensino para que se pudesse diferenciar os resultados obtidos de um grupo de controle, submetido a outras técnicas.

Outro fator que parecia ser promissor, pelas opiniões expressas pelos usuários durante a validação da proposta do cursor 3D, mas não se mostrou muito efetivo no ambiente educacional foi a reação háptica do controle enquanto o usuário movimentava os objetos da cena, embora houve um aumento nas médias e medianas do grupo que utilizou esse recurso, estatisticamente o resultado não se comprovou. Com a remoção dessa variável, houve a retirada do grupo de controle das análises, impedindo a comparação das demais análises entre os grupos.

Capítulo 6

Conclusões

Visando a aprimorar o ensino de Física para os alunos das primeiras séries de cursos de Engenharia, propôs-se desenvolvimento de um ambiente de laboratório com uma interface interativa tridimensional similar à de jogos digitais. O projeto relatado neste trabalho foi dividido, cronologicamente, em dois subobjetivos: o desenvolvimento de um cursor 3D que pudesse ser movimentado pelo controle de videogame *Wii Remote* e o seu uso em um ambiente virtual contextualizado para apoio ao ensino de Física.

O *Wii Remote* foi escolhido como interface de entrada de dados para o projeto pois, além de relativamente barato, possui recursos que permitem obter a movimentação da mão do seu usuário no espaço. Outro fator que foi decisivo para a sua escolha, ao invés de outros dispositivos de captura de movimento, foi a funcionalidade de permitir gerar uma resposta háptica ao usuário para dar a sensação de toque quando algum objeto fosse selecionado e movimentado no ambiente virtual.

Para verificar a viabilidade da proposta, alguns usuários realizaram testes e responderam a um questionário que permitiu classificá-los de acordo com sua familiaridade e experiência prévia com o uso de dispositivos 3D. Foram elaborados testes que convidavam os usuários a movimentar alguns objetos até um local assinalado como destino. Os resultados mostraram que não requer conhecimentos prévios para realizar a tarefa de seleção e posicionamento com uso de *Wii Remote*, uma vez que o posicionamento dos objetos em seus respectivos alvos apresentam distâncias médias próximas para os grupos de usuários, mas vale ressaltar que os usuários com maior grau de experiência com tecnologia de interação ou visualização tridimensional realizaram as tarefas em menor tempo. Esses resultados também foram utilizados para determinar a curva de aprendizado do uso do *Wii Remote* para selecionar e movimentar objetos com o cursor 3D, mostrando que a contínua repetição das tarefas tem o tempo melhorado à razão de 80% ao se dobrar o número de repetições de realização da tarefa.

Esses usuários também responderam a um questionário sobre o uso do controle *Wii Remote* como interface para controle de um cursor em aplicativos 3D e os resultados permitiram verificar suas

opiniões, pontos de melhoria e dificuldades percebidas com a realização das tarefas proposta antes de seguir para a próxima fase do desenvolvimento.

De maneira geral, verificou-se a validade dessa proposta, uma vez o controle do videogame *Nintendo Wii* pode ser utilizado como interface para aplicações tridimensionais e sua resposta háptica pode auxiliar algumas pessoas que possuem menos familiaridade com aplicativos e dispositivos 3D a terem a sensação de movimentação dos objetos no ambiente virtual.

Com o desenvolvimento técnico do cursor 3D e seu controle pelo *Wii Remote* a segunda fase deste trabalho pode ser iniciada: o desenvolvimento de uma aplicação educacional, mas sem perder o caráter lúdico do uso do controle de videogame, para auxiliar os alunos com dificuldade em Física, em virtude de conceitos básicos adquiridos espontaneamente em suas experiências de vida, mas discrepantes em relação à realidade.

As simulações do aplicativo foram realizadas pela *engine* física ODE, responsável pela aplicação das leis da Mecânica Clássica aos corpos, principalmente em relação às colisões, que apresentou resultados condizentes com a teoria para cada um dos cenários elaborados pelo professor. Devido ao fato do *Wii Remote* possuir como resposta háptica apenas a possibilidade de ligar ou desligar o motor de vibração e de não possuir um *force feedback*, devido ao fato de não estar acoplado a nenhuma estrutura fixa que possa reagir à força aplicada pelo usuário, algumas categorias do questionário FCI tiveram que ser descartadas, devido a impossibilidade de realizar simulações para exemplificar essas questões.

Um novo grupo de alunos foi submetido aos testes para verificar os aspectos pedagógicos do ambiente contextualizado para o ensino de Física. Esses alunos foram divididos em dois grupos: no primeiro, a reação háptica do *Wii Remote* era habilitado quando o usuário segurava um objeto, enquanto que o segundo grupo (considerado grupo de controle) não sentiu nenhuma vibração do controle.

Ao comparar as quatro questões comuns aos questionários que os alunos responderam antes e imediatamente depois de utilizarem o ambiente, observou-se que o número de erros conceituais de Física diminuiu em todas as questões, entretanto, somente em duas dessas questões a evolução pode ser considerada estatisticamente significativa. Ao considerar a pontuação total dessas quatro questões, observou-se que existe uma diferença estatisticamente significativa na resposta média entre as avaliações, indicando que o uso do ambiente para simulações propicia aumento na pontuação de acertos.

Verificou-se ainda que a maioria dos alunos que aumentaram o número de acertos estava utilizando o controle com a resposta háptica habilitada, entretanto, os testes estatísticos mostraram que não se pode afirmar que o fator háptico interfere no número de acertos dos usuários. Entretanto, o custo se ter o efeito háptico é tão pequeno que pode valer a pena deixá-lo habilitado para que os usuários

com menor experiência em tecnologias tridimensionais tenham um pouco mais de facilidade com o manuseio do cursor 3D.

Pode-se ainda investigar futuramente se outros dispositivos de entrada de dados tridimensionais que não possuam a resposta tátil possam ser utilizados para manipular o cursor 3D no ambiente virtual para o ensino de Física desenvolvido. *Hardwares* como o *Leap Motion* ou o *Kinect* podem fazer a leitura da mão ou até mesmo do corpo do usuário e seus dados podem ser codificados e utilizados para a movimentação do cursor 3D, sem perder a proposta de que a interação com caráter lúdico pode despertar interesse nos alunos ao utilizarem um ambiente de aprendizagem.

Ao analisar todas as questões desses questionários, observou-se na tabela 5.6 uma diminuição de 1,7% no desempenho porcentual do teste com quatro questões para o teste com nove questões, entretanto os testes estatísticos não mostram diferença significativa para essa queda. Essa leve queda no desempenho pode estar relacionada ao aumento do número de questões, uma vez que o índice de acertos permaneceu acima de 80%.

Para analisar a retenção dos conceitos que foram explorados durante a experimentação no ambiente de simulações 3D, o teste contendo as nove questões foi reaplicado uma semana depois e os resultados da tabela 5.7 mostraram que houve uma queda de 0,4 pontos (em uma escala de 0 a 9) entre os dois questionários. Essa diferença mostrou-se estatisticamente significativa, entretanto, sob o ponto de vista de um professor com quinze anos de experiência que desenvolveu a proposta deste trabalho, elaborou e aplicou os testes, pode-se afirmar que tal condição era esperada, uma vez que os alunos não possuem um alto grau de retenção do conteúdo que lhes é apresentado, independentemente do mecanismo ou meio utilizado em aulas.

Ao verificar os resultados dos questionários como um todo, pode-se dizer o ambiente de aprendizagem proposto tem maior efetividade nas situações em que a aprendizagem se dá pela repetição de tarefas, uma vez que os resultados melhoraram ao se comparar as quatro questões altamente relacionadas com as cenas que os alunos puderam interagir no ambiente virtual. Entretanto, não foi efetivo na situação do processo de ensino-aprendizagem em que funções cognitivas de análise devem ser feitas pelos alunos. Além disso, também não se mostrou estatisticamente efetivo com relação à retenção dos conceitos ao longo do tempo.

Deve-se considerar também que o uso desse objeto de aprendizagem foi concebido como elemento auxiliar às aulas tradicionais. Entretanto, por razões da disparidade do plano de aulas com a época de realização do experimento com os alunos, esse fator não pode ser incluído na análise dos resultados. Além disso, não foi possível comparar a efetividade do ambiente de simulação com outras técnicas de aprendizado, devido a falta de um grupo de controle para essa situação.

Um refinamento dos resultados poderia ocorrer ao se considerar fatores que não puderam ser controlados ao decorrer deste trabalho, como um estudo planejado controlando a técnica de amostragem,

uma vez que nas duas vezes em que houveram a necessidade da participação de alunos, a amostragem foi por conveniência, uma vez que esses usuários que participaram do estudo foram voluntários. Além disso, uma seleção de alunos com conhecimentos prévios equivalentes sobre cada um dos assuntos abordados permitiria minimizar a variabilidade dos resultados.

Em alguns testes foi observado que a taxonomia da amostra resultou grupos com um número reduzido de participantes. Porém, deve-se se ressaltar que com o aumento do tamanho da amostra, mínimas diferenças entre os grupos sendo comparados podem gerar resultados estatisticamente significativos ($p\text{-valor} \leq 0,05$), entretanto, deve-se avaliar se uma diferença significativamente conclusiva tem o mesmo valor sob o ponto de vista do ganho no conhecimento na prática.

O ambiente pode ainda ser melhorado sob o ponto de vista da sua interface gráfica, permitindo que sejam apresentadas informações sobre os conceitos teóricos que estão sendo simulados, bem como a apresentação de outras grandezas relacionadas com o experimento, como velocidades instantânea, média e máxima, além de distância percorrida e tempo decorrido do início da simulação.

Além de uma contribuição tecnológica para ensino de Física no curso de graduação de Engenharia, este trabalho apresentou um resumo sobre diversas técnicas de análise estatísticas, uma vez foi necessário realizar um grande número de análises dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do projeto. Para cada um foram verificadas as características dos dados amostrais e escolhidos testes estatísticos adequados para analisá-los, permitindo tecer um panorama geral sobre quais seriam as apropriadas ferramentas para ser utilizadas em cada caso. Em algumas situações os resultados foram confirmados ao se confrontar as análises em suas versões paramétricas e não paramétricas.

Referências

ABELLÁN, F. J.; ARENAS, A.; NÚÑEZ, M. J.; VICTORIA, L. The use of a nintendo wii remote control in physics experiments. **European Journal of Physics**, v. 34, n. 5, p. 1277, 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/EAXZCG>>. Acesso em: 01 jan. 2015.

ANALOG DEVICES. **ADXL330**. Norwood, 2007. Disponível em: <<http://goo.gl/CQXzB7>>. Acesso em: 17 out. 2010.

ANDERSON, D. R.; SWEENEY, D. J.; WILLIAMS, T. A. **Estatística aplicada à administração e economia**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 642 p.

ANZANELLO, M. J.; FOGLIATTO, F. S. Curvas de aprendizado: estado da arte e perspectivas de pesquisa. **Gestão & Produção**, scielo, v. 14, p. 109 – 123, 04 2007. ISSN 0104-530X. Disponível em: <<http://goo.gl/xIPiqF>>.

BARAFF, D. Analytical methods for dynamic simulation of non-penetrating rigid bodies. **Computer Graphics**, SIGGRAPH'89, v. 23, n. 3, p. 223–232, 07 1989. ISSN 0201504340. Disponível em: <<http://goo.gl/7l2k5Z>>.

BARBETA, V. B.; YAMAMOTO, I. Dificuldades conceituais em Física apresentadas por alunos ingressantes em um curso de Engenharia . **Revista Brasileira de Ensino de Física**, scielo, v. 24, p. 324 – 341, 09 2002. ISSN 1806-1117. Disponível em: <<http://goo.gl/rG9cKm>>.

BREISINGER, M.; HÖLLERER, T.; FORD, J.; FOLSOM, D. Implementation and evaluation of a 3d multi modal learning environment. In: PEARSON, E.; BOHMAN, P. (Ed.). **Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2006**. Chesapeake, VA: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2006. p. 2282–2289. Disponível em: <<http://goo.gl/MK8dxo>>. Acesso em: 30 dez. 2014.

BURDEN, R. L.; FAIRES, J. D. **Análise numérica**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 738 p.

CESA. **Tokyo Game Show 2005**. set. 2005. Disponível em: <<http://goo.gl/tAqySz>>. Acesso em: 17 out. 2010.

CHASE, R. B.; AQUILANO, N. J.; JACOBS, F. R. **Administração da produção e operações para vantagens competitivas**. 11. ed. São Paulo: McGraw Hill, 2006. 620 p.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences (2nd Edition)**. 2. ed. [S.l.]: Routledge, 1988. ISBN 0805802835.

COSTA, S. S. C. d.; MOREIRA, M. A. O papel da modelagem mental dos enunciados na resolução de problemas em Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, scielo, v. 24, p. 61 – 74, mar 2002. ISSN 1806-1117. Disponível em: <<http://goo.gl/GdLvGa>>.

DIAS, R. d. S.; SAMPAIO, I. L. A.; TADDEO, L. d. S. Fisioterapia x wii: a introdução do lúdico no processo de reabilitação de pacientes em tratamento fisioterápico. In: **Proceedings of the VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment**. Rio de Janeiro, Brasil: [s.n.], 2009. p. 34–37. Disponível em: <<http://goo.gl/rWGIrO>>. Acesso em: 11 out. 2010.

DORIA FILHO, U. **Introdução à bioestatística**: Para simples mortais. São Paulo: Campus, 1999. 158 p.

DUVAL, R. Registros de representações semióticas e funcionamento cognitivo da compreensão em Matemática. In: MACHADO, S. D. A. (Ed.). **Aprendizagem em Matemática: registros de representação semiótica**. Campinas: Papirus Editora, 2003. p. 11–31.

FERNANDES, S. A. **Um estudo sobre a consistência de modelos mentais sobre Mecânica de estudantes de ensino médio**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

FIOLHAIS, C.; TRINDADE, J. Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, scielo, v. 25, p. 259 – 272, 09 2003. ISSN 1806-1117. Disponível em: <<http://goo.gl/zSBzQC>>.

FRUSTACI, T. B.; DOBROFF, V. C.; SCALCO, R. Laboratório virtual de física. In: **ICECE'2007 - International Conference on Engineering and Computer Education**. Monguaguá: [s.n.], 2007. p. 758–762.

GARNHAM, A. Representing information in mental models. In: CONWAY, M. A. (Ed.). **Cognitive models of memory**. Cambridge: MIT Press, 1997. p. 149–172.

GOMES, E. R.; SILVEIRA, R. A.; VICCARI, R. M. Objetos inteligentes de aprendizagem: uma abordagem baseada em agentes para objetos de aprendizagem. In: **XV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação**. Manaus: [s.n.], 2004. p. 389–398. Disponível em: <<http://goo.gl/k5kO5N>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

HESTENES, D.; WELLS, M. A mechanics baseline test. **The Physics Teacher**, AAPT, v. 30, n. 3, p. 159–166, 1992. Disponível em: <<http://goo.gl/kCGs2p>>.

HESTENES, D.; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. Force concept inventory. **The Physics Teacher**, AAPT, v. 30, n. 3, p. 141–158, mar. 1992. ISSN 0031-921X. Disponível em: <<http://goo.gl/pV99V7>>.

HOHENFELD, D. P.; PENIDO, M. C. Laboratórios convencionais e virtuais no ensino de física. In: **Anais do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Florianópolis, SC: [s.n.], 2000. p. 1–10. Disponível em: <<http://goo.gl/R1Q3lf>>.

IEEE. **WG12: Learning object metadata position statement on 1484.12.1-2002**. 2002. IEEE Learning Technology Standards Committee. Disponível em: <<http://goo.gl/6sxlfi>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

LEE, J. C. **Low-cost multi-point interactive whiteboards using the Wiimote**. 2007. Disponível em: <<http://goo.gl/RjtvZY>>. Acesso em: 15 ago. 2010.

LEE, J. C. Hacking the nintendo wii remote. **IEEE Pervasive Computing**, IEEE Educational Activities Department, Piscataway, NJ, USA, v. 7, n. 3, p. 39–45, jul. 2008. ISSN 1536-1268. Disponível em: <<http://goo.gl/X8a0jM>>. Acesso em: 15 ago. 2010.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, v. 22, n. 140, p. 1–55, 1932. Acesso em: 03 jan. 2015.

LINDENAU, J. D.-R.; GUIMARÃES, L. S. P. Calculando o tamanho de efeito no spss. **Rev. HCPA & Fac. Med. Univ. Fed. Rio Gd. do Sul**, v. 32, n. 3, p. 363–381, 2012.

LÉVY, P. **O que é virtual?** São Paulo: Editora 34, 1996. 160 p.

MARION, J. B. **Dinámica clásica de las partículas y sistemas**. Barcelona: Editorial Reverté, 1998. 653 p.

MARQUARDT, R. **HID controller**. fev. 2004. Disponível em: <<http://goo.gl/Yyy6jT>>. Acesso em: 08 out. 2010.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Banco internacional de objetos educacionais**. 2008. Disponível em: <<http://goo.gl/IJ4bSJ>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

MOREIRA, M. A. ¿al afinal, qué es aprendizaje significativo? **Qurriculum : revista de teoría, investigación y práctica educativa**, v. 1, n. 25, p. 29–56, mar. 2012. Disponível em: <<http://goo.gl/qPykVi>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

NINTENDO. **Manual de instruções do Wii - configurações do console**. [S.l.], 2011. Disponível em: <<http://goo.gl/e4qFNU>>. Acesso em: 13 fev. 2013.

Open Wonderland. **Open source 3D virtual collaboration toolkit - Open Wonderland**. 2010. Disponível em: <<http://goo.gl/NPECyB>>. Acesso em: 01 jan. 2015.

OPENGL. **The industry's foundation for high performance graphics**. 2014. Disponível em: <<http://goo.gl/1EuKHP>>. Acesso em: 12 ago. 2013.

PARIS, C. **Hanami engine**. 2010. Disponível em: <<http://goo.gl/Nz7t93>>. Acesso em: 09 jan. 2015.

PIRKER, J. **The virtual TEAL world - an interactive and collaborative virtual world Environment for Physics Education**. Dissertação (Mestrado) — Graz University of Technology, 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/uhnHRS>>. Acesso em: 30 dez. 2014.

REHMAN, I.; ULLAH, S.; RABBI, I. Measuring the student's success rate using a constraint based multi-modal virtual assembly environment. In: PAOLIS, L. T. D.; MONGELLI, A. (Ed.). **Augmented and Virtual Reality**. Springer International Publishing, 2014, (Lecture Notes in Computer Science). p. 53–64. ISBN 978-3-319-13968-5. Disponível em: <<http://goo.gl/4kBcpy>>. Acesso em: 30 dez. 2014.

ROONEY, F.; SOMERS, W. Using the wiimote in introductory physics experiments. **TCNJ - Journal of student scholarship**, v. 12, abr. 2010. Disponível em: <<http://goo.gl/mRrIql>>. Acesso em: 06 out. 2010.

SCHEER, S. **Objetos educacionais para Engenharia de Estruturas**. 2004. Disponível em: <<http://goo.gl/cvCQU9>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

SCHEER, S. **Projeto NuMelOs**. 2004. Disponível em: <<http://goo.gl/JMCYSy>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

SCHREIBER, M.; WILAMOWITZ-MOELLENDORFF, M.; BRUDER, R. New interaction concepts by using the wii remote. In: **Proceedings of the 13th International Conference on Human-Computer Interaction. Part II: Novel Interaction Methods and Techniques**. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. p. 261–270. ISBN 978-3-642-02576-1. Disponível em: <<http://goo.gl/0eU9gw>>. Acesso em: 01 jan. 2015.

SHIMAKURA, S. E. **Bioestatística A**. Curitiba: LEG-UFPR, 2012. Notas de aula. Disponível em: <<http://goo.gl/106LQw>>.

SILVA, S. R. X. d.; BARRETO, L. P. Desenvolvimento de um laboratório virtual para ensino de física em cursos de engenharia através de physlets. In: **Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**. Blumenau, SC: [s.n.], 2011. p. 1–10. Disponível em: <<http://goo.gl/2VFR7h>>.

SILVAL, T. H. da; SILVA, G. S. F.; MANSOR, M. O uso do inventário dos conceitos de força para análise das concepções de mecânica newtoniana de alunos de licenciatura em física. In: **SBF. XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. [S.l.], 2009. p. 1–10.

SMITH, R. **Open Dynamics Engine**. 2006. Disponível em: <<http://goo.gl/BvSCFK>>. Acesso em: 09 jan. 2012.

SQUIRE, K.; BARNETT, M.; GRANT, J. M.; HIGGINBOTHAM, T. Electromagnetism supercharged!: Learning physics with digital simulation games. In: **Proceedings of the 6th International Conference on Learning Sciences**. International Society of the Learning Sciences, 2004. (ICLS '04), p. 513–520. Disponível em: <<http://goo.gl/piLV3T>>. Acesso em: 30 dez. 2014.

TERDIMAN, P. **OPCODE - Optimized Collision Detection**. 2003. Disponível em: <<http://goo.gl-/9YXhcv>>. Acesso em: 09 jan. 2012.

TOMARKEN, S. L.; SIMONS, D. R.; HELMS, R. W.; JOHNS, W. E.; SCHRIVER, K. E.; WEBSTER, M. S. Motion tracking in undergraduate physics laboratories with the wii remote. **American Journal of Physics**, v. 80, n. 4, p. 351–354, 2012. Disponível em: <<http://goo.gl-/354BGD>>. Acesso em: 01 jan. 2015.

TSAPANIDOU, A. A. **Virtual room scene with the Wii Remote/Motion Plus**. Dissertação (Mestrado) — School of Science and Technology, The Nottingham Trent University. Nottingham, 2009. Disponível em: <<http://goo.gl/TXVBdd>>. Acesso em: 07 out. 2010.

VANNONI, M.; STRAULINO, S. Low-cost accelerometers for physics experiments. **European Journal of Physics**, v. 28, n. 5, p. 781–787, set. 2007. Disponível em: <<http://goo.gl/qPykVi>>. Acesso em: 02 out. 2010.

VENKATESH, A.; SAINI, G. **Interfacing the Wii Remote with a computer to capture real-time activity**. 2007. Disponível em: <<http://goo.gl/3cHQoR>>. Acesso em: 03 out. 2010.

VILLANI, A.; PACCA, J. L. de A.; KISHINAMI, R. I.; HOSOUME, Y. Analisando o ensino de física: contribuições de pesquisas com enfoques diferentes . **Revista de Ensino de Física**, Sociedade Brasileira de Física, v. 4, p. 23 – 51, 1982. ISSN 1806-1117. Disponível em: <<http://goo.gl/Te5tKG>>.

VYGOTSKY, L. S. **Psicologia pedagógica**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2004. 545 p.

WIIMOTE PHYSICS. **Distance measurements with the WiiMote**. 2010. Disponível em: <<http://goo.gl/Kysmq>>. Acesso em: 12 jun. 2012.

ZYLBERSZTAJN, A. Concepções espontâneas em Física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino . **Revista de Ensino de Física**, Sociedade Brasileira de Física, v. 5, n. 2, p. 3 – 16, 1983. ISSN 1806-1117. Disponível em: <<http://goo.gl/YW24Y7>>.

Anexo A - Trabalhos publicados pelo autor

SCALCO, R.; FREITAS, A. G. Uso do controle Wii Remote como cursor para manipulação de objetos tridimensionais em ambientes de realidade virtual. In: **IGIP'2011 - 40th IGIP International Symposium on Engineering Education**, Santos, São Paulo, Brasil, p. 556-559, mar. 2011.

SCALCO, R.; WU, S.-T. Elementos de um laboratório virtual de Física controlados por Wiimote. In: **SIBGRAPI'2012 - Conference on Graphics, Patterns and Images**, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil, ago. 2012.

SCALCO, R.; TAVARES, R. S. Localização espacial da mão do usuário utilizando Wii Remote. In: **4º Seminário Mauá de Iniciação Científica**, São Caetano do Sul, São Paulo, Brasil, dez. 2012.

SCALCO, R.; WU, S.-T. Desenvolvimento de um framework para uso do Wiimote como dispositivo de interações em ambientes tridimensionais aplicado a um laboratório virtual de Física. In: **SIBGRAPI'2013 - Conference on Graphics, Patterns and Images**, Arequipa, Peru, ago. 2013.

SCALCO, R.; WU, S.-T. Estudo da aceitabilidade de usuários sobre o uso do Wiimote como interface de um cursor 3D. In: **INTERTECH'2014 - XIII International Conference on Engineering and Technology Education**, Guimarães, Portugal, mar. 2014.

Anexo B - Roteiro de aplicação

Você está recebendo dois questionários, um termo de consentimento. Por favor, siga os seguintes passos para a realização do experimento:

- Responda ao questionário contendo **quatro questões**;
- Dirija-se ao computador que estiver livre e clique no menu **Abrir**:
 - Escolha o arquivo **Exemplo.xml** e passe algum tempo para se acostumar com a movimentação dos objetos utilizando o *Wii Remote*. Faça alguns testes como movimentar os objetos de um lado para o outro, para frente e para trás etc.;
 - Quando julgar que possui bom controle dos objetos, clique no menu **Abrir** e escolha o arquivo **Exercício1.xml** e realize o experimento lembrando das questões apresentadas no questionário;
 - Repita a operação para os demais exercícios que estão na pasta do menu **Abrir**;
- Retorne ao seu lugar e responda ao questionário com **nove questões**. Por favor, não altere o que foi respondido no primeiro questionário;
- Ao término, por favor, assine o termo de consentimento do uso dos resultados dos seus questionários em pesquisa científica, lembrando que você não será identificado na análise e divulgação dos resultados.

Gostaríamos, se possível, que você retorne em uma semana para a conclusão da pesquisa. Obrigado por participar da pesquisa.

Anexo C - Termo de livre consentimento

Você está sendo consultado sobre a sua participação, como voluntário, em uma pesquisa educacional. Pretendemos verificar quais são os modelos mentais de estudantes dos cursos a respeito de conceitos relacionados ao conteúdo de Mecânica e como esses modelos evoluem ao longo do tempo. Serão apresentados questionários com questões de múltipla-escolha abordando o conteúdo de Mecânica. Se você concordar em participar da pesquisa, podemos lhe garantir que:

- a) em nossas análises adotaremos procedimentos para você não seja identificado(a);
- b) seu professor não utilizará os resultados de nossa análise para avaliar o seu desempenho;
- c) ao divulgarmos os resultados do estudo utilizaremos procedimentos que impeçam sua identificação;
- d) você terá inteira liberdade de se retirar da pesquisa a qualquer momento que desejar;
- e) os dados constantes da ficha de identificação serão utilizados apenas para relacionar ao resultado do questionário os dados referentes ao seu contexto;
- f) os dados constantes da ficha de identificação serão absolutamente confidenciais, garantindo, assim, total anonimato;
- g) não existe qualquer risco pessoal na participação da pesquisa.

Você não terá nenhum benefício direto pela sua participação ao responder às questões que lhe serão apresentadas. Os benefícios serão úteis para a investigação da aprendizagem de Física no curso universitário. Caso não queira participar da pesquisa isso não acarretará em nenhum tipo de punição. Os conhecimentos resultantes desta pesquisa serão divulgados em revistas especializadas, em congressos e simpósios sobre pesquisas educacionais e em uma dissertação de Mestrado. Além disso, os dados coletados farão parte de um banco de dados que ficará sob a guarda dos pesquisadores do projeto por pelo menos 10 anos, e poderão ser utilizados em futuras pesquisas. Depois desse prazo, os dados serão destruídos.

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO Eu li os detalhes descritos neste documento. Entendo que eu sou livre para autorizar ou não a minha participação no projeto e que posso interromper a participação dele a qualquer momento. Eu concordo que os dados coletados para o estudo sejam usados para o propósito descrito.

São Caetano do Sul, _____ de novembro de 2014.

Nome por extenso: _____

Assinatura: _____

Anexo D - Questionários

D.1 Questionário de aceitação

Avaliação do controle do cursor 3D com o Wii Remote

Fale um pouco sobre você

Sexo: ☐ Feminino ☐ Masculino

Qual é a sua idade? _____

Qual a sua área de atuação?

- ☐ Estudante ☐ Profissional da área de Engenharia
☐ Profissional da área de Design ☐ Profissional da área de TI
☐ Profissional de área de Educação ☐ Profissional de outra área

Familiaridade com ambientes tridimensionais

Indique o seu grau de experiência com cada uma das tecnologias indicadas a seguir:

	Nenhuma	Pouca	Alguma	Alta	Muito Alta
Qual sua familiaridade com o Wii Remote?	☐	☐	☐	☐	☐
Qual sua familiaridade com dispositivos de interação 3D (Spaceball, mouse 3D, luva 3D, SpaceNavigator etc)?	☐	☐	☐	☐	☐
Qual sua familiaridade com dispositivos de interação por movimento (Kinect, Smart TV etc)?	☐	☐	☐	☐	☐
Qual sua familiaridade com jogos 3D?	☐	☐	☐	☐	☐
Qual sua familiaridade com aplicativos 3D de modelagem de sólidos ou superfícies (SolidWorks, SolidEdge, Catia, Rhinoceros, Revit etc)?	☐	☐	☐	☐	☐

Usabilidade do cursor 3D utilizado agora

Indique o grau de dificuldade sentido durante os testes:

	Nenhuma	Pouca	Alguma	Alta	Muito Alta
Movimentar o cursor de maneira paralela à tela, na horizontal	☐	☐	☐	☐	☐
Movimentar o cursor de maneira paralela à tela, na vertical	☐	☐	☐	☐	☐
Movimentar o cursor em relação à profundidade da tela	☐	☐	☐	☐	☐
Teste livre, sem movimentar os blocos	☐	☐	☐	☐	☐
Movimentar o cursor até os objetos que foram movimentados	☐	☐	☐	☐	☐
Segurar e movimentar os objetos até os arredores dos seus destinos	☐	☐	☐	☐	☐
Posicionar os objetos com precisão na marcação de destino	☐	☐	☐	☐	☐

Ao movimentar um objeto pela cena, o Wii Remote produziu uma vibração. Avalie se essa vibração pode ser considerada um fator que aumenta a percepção de estar segurando o objeto virtual durante o movimento do cursor.

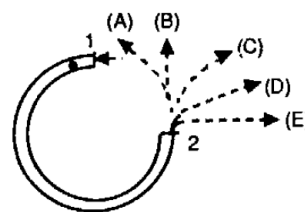
Não ajuda a ter a sensação de estar segurando o objeto virtual ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 Ajuda a ter a sensação de estar segurando o objeto virtual

D.2 Questionário preliminar ao teste

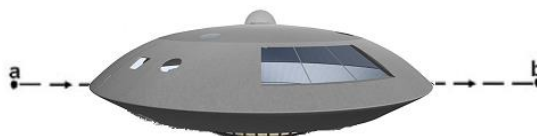
1. Duas bolinhas de metal têm o mesmo tamanho, mas uma pesa o dobro da outra. As bolinhas são soltas do telhado de um prédio no mesmo instante de tempo. Quanto ao tempo que as bolinhas demoram a chegar ao chão:

(A) A bolinha mais pesada demora a metade do tempo da bolinha mais leve.
(B) A bolinha mais leve demora a metade do tempo da bolinha mais pesada.
(C) Ambas as bolinhas demoram mais ou menos o mesmo tempo.
(D) O tempo é consideravelmente menor para a bolinha mais pesada, mas não a metade.
(E) O tempo é consideravelmente menor para a bolinha mais leve, mas não a metade.

2. A figura mostra um tubo sem atrito na forma de um segmento de círculo com centro em "O". O tubo encontra-se preso a uma mesa horizontal sem atrito. O observador olha a mesa por cima. As forças exercidas pelo ar são insignificantes. Uma bolinha é disparada a alta velocidade no tubo em "1" e sai em "2". Indique na figura qual trajetória a bolinha seguirá após sair do tubo em "2", movendo-se sobre a mesa sem atrito?



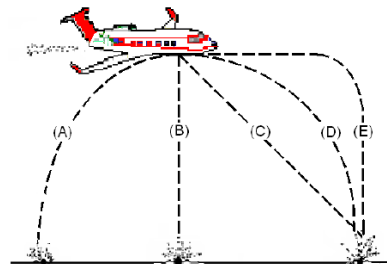
3. Um disco voador desloca-se lateralmente no espaço exterior do ponto "a" para o ponto "b" como mostrado abaixo. O disco voador não está sujeito a nenhuma força exterior. Chegando na posição "b", o motor do disco voador é ligado e produz nele uma força constante em um ângulo perpendicular à linha "ab". Essa força constante é mantida até que o disco voador alcance um ponto "c" no espaço.



Depois da posição "c", a velocidade do disco voador está:

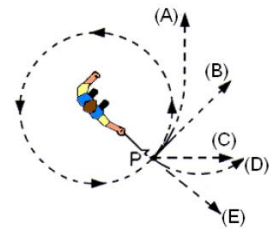
(A) constante.
(B) continuamente aumentando.
(C) continuamente diminuindo.
(D) aumentando inicialmente e depois ficando constante.
(E) constante inicialmente e depois diminuindo.

4. Um objeto é largado por um avião em voo horizontal, como mostrado na figura. Qual trajetória, quando vista por um observador situado no chão, mais se aproxima daquela seguida pelo objeto depois de deixar o avião?



D.3 Questionário posterior ao teste

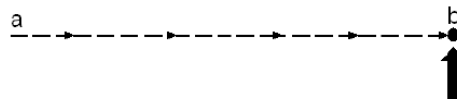
1. Uma esfera de aço é amarrada a uma corda e girada em uma trajetória circular em um plano horizontal. No ponto **P** indicado na figura a corda se rompe próximo à esfera. Se esses eventos forem observados de cima, que trajetória a esfera seguirá aproximadamente após a ruptura da corda?



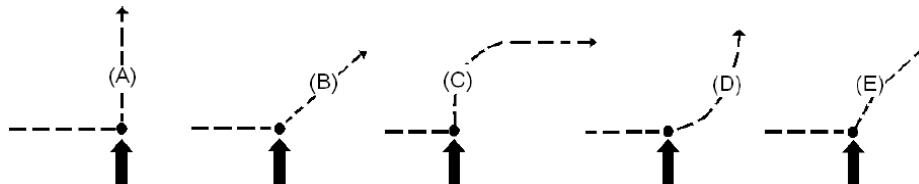
2. Duas bolinhas de metal têm o mesmo tamanho, mas uma pesa o dobro da outra. As bolinhas são soltas do telhado de um prédio no mesmo instante de tempo. Quanto ao tempo que as bolinhas demoram a chegar ao chão:
- (A) A bolinha mais pesada demora a metade do tempo da bolinha mais leve.
 (B) A bolinha mais leve demora a metade do tempo da bolinha mais pesada.
 (C) Ambas as bolinhas demoram mais ou menos o mesmo tempo.
 (D) O tempo é consideravelmente menor para a bolinha mais pesada, mas não a metade.
 (E) O tempo é consideravelmente menor para a bolinha mais leve, mas não a metade.

Utilize a afirmação e a figura abaixo para responder as próximas três questões.

A figura representa a trajetória de um disco que desliza com velocidade constante " v_0 " em linha reta do ponto "a" para o ponto "b" em uma superfície horizontal sem atrito. As forças exercidas pelo ar são insignificantes e o observador olha o disco de cima. Quando o disco alcança o ponto "b", ainda com velocidade constante " v_0 ", recebe um chute horizontal no sentido da seta mais grossa. Se o disco estivesse em repouso em "b", após o chute, seguiria no sentido do chute com uma velocidade " v_1 ".



3. Qual das trajetórias abaixo mais se aproxima daquela seguida pelo disco após receber o chute?

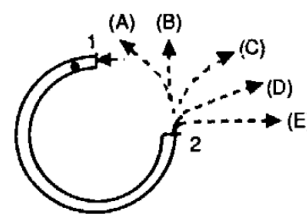


4. A velocidade do disco imediatamente após receber o chute é:
- (A) Igual à velocidade inicial " v_0 " que ele possuía antes de receber o chute.
 (B) Igual à velocidade " v_1 " que resulta do chute e independente da velocidade " v_0 ".
 (C) Igual à soma aritmética das velocidades " v_0 " e " v_1 ".
 (D) Menor do que ambas as velocidades " v_0 " ou " v_1 ".
 (E) Maior do que ambas as velocidades " v_0 " ou " v_1 ", mas menor que a soma aritmética delas.
5. Ao longo do caminho sem atrito que você escolheu na questão 3, a velocidade do disco depois de ele ter recebido o chute:
- (A) É constante.
 (B) Aumenta continuamente.
 (C) Diminui continuamente.
 (D) Aumenta durante algum tempo e diminui depois disso.
 (E) É constante durante algum tempo e aumenta depois disso.

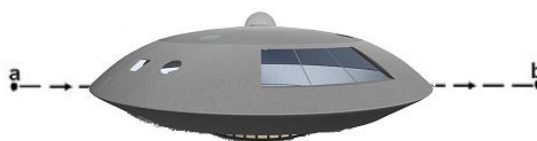
6. Duas bolinhas de aço de mesmo tamanho, mas uma pesa o dobro da outra, rolam de uma mesa horizontal com a mesma velocidade, atingem a beirada da mesa e caem no chão. Nesta situação:

- (A) As duas bolinhas batem no chão à mesma distância horizontal em relação ao pé da mesa.
- (B) A bolinha mais pesada bate no chão na metade da distância atingida pela bola mais leve em relação ao pé da mesa.
- (C) A bolinha mais leve bate no chão na metade da distância atingida pela bola mais pesada em relação ao pé da mesa.
- (D) A bolinha mais pesada bate no chão consideravelmente mais próximo ao pé da mesa, mas não necessariamente a metade da distância horizontal atingida pela bolinha mais leve.
- (E) A bolinha mais leve bate no chão consideravelmente mais próximo ao pé da mesa, mas não necessariamente a metade da distância horizontal atingida pela bolinha mais pesada.

7. A figura mostra um tubo sem atrito na forma de um segmento de círculo com centro em "O". O tubo encontra-se preso a uma mesa horizontal sem atrito. O observador olha a mesa por cima. As forças exercidas pelo ar são insignificantes. Uma bolinha é disparada a alta velocidade no tubo em "1" e sai em "2". Indique na figura qual trajetória a bolinha seguirá após sair do tubo em "2", movendo-se sobre a mesa sem atrito?



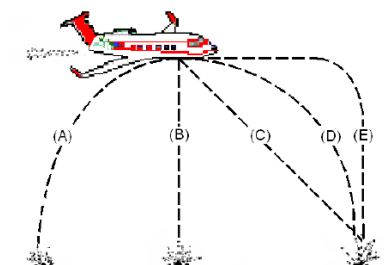
8. Um disco voador desloca-se lateralmente no espaço exterior do ponto "a" para o ponto "b" como mostrado abaixo. O disco voador não está sujeito a nenhuma força exterior. Chegando na posição "b", o motor do disco voador é ligado e produz nele uma força constante em um ângulo perpendicular à linha "ab". Essa força constante é mantida até que o disco voador alcance o ponto "c" no espaço.



Depois da posição "c", a velocidade do disco voador está:

- (A) constante.
- (B) continuamente aumentando.
- (C) continuamente diminuindo.
- (D) aumentando inicialmente e depois ficando constante.
- (E) constante inicialmente e depois diminuindo.

9. Um objeto é largado por um avião em voo horizontal, como mostrado na figura. Qual trajetória, quando vista por um observador situado no chão, mais se aproxima daquela seguida pelo objeto depois de deixar o avião?



Anexo E - Descrições das cenas armazenadas em arquivos XML

Os arquivos XML foram gerados diretamente pelo componente **ClientDataSet**, utilizado como interface para gerenciamento de banco de dados. Esses cinco arquivos foram as cenas utilizadas pelos alunos durante a simulação e descritas na seção 5.4.2.

```

<?xml version="1.0" standalone="true"?>
<!-- Cena 1 - Esferas sem gravidade -->
<DATAPACKET Version="2.0">
  - <METADATA>
    - <FIELDS>
      <FIELD WIDTH="20" fieldtype="string" attrname="Nome"/>
      <FIELD fieldtype="i4" attrname="ID"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="X"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Y"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Z"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Ang"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="eixoX"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="eixoY"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="eixoZ"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="SX"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="SY"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="SZ"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim1"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim2"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim3"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim4"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Massa"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="R"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="G"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="B"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="A"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="UsaCor"/>
      <FIELD WIDTH="255" fieldtype="string" attrname="Arquivo"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="UserMove"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MoveX"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MoveY"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MoveZ"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="ODEMove"/>
      <FIELD fieldtype="i4" attrname="ODETipo"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraRastroSempre"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraRastroSolto"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraVecV"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraVecA"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraEixoRot"/>
      <FIELD fieldtype="i4" attrname="TipoDeColisao"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Atrito"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="TemGravidade"/>
    </FIELDS>
    <PARAMS CHANGE_LOG="1 0 4 2 0 4 3 0 4 4 0 4"/>
  </METADATA>
  - <ROWDATA>
    <ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
      MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="TRUE"
      MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="TRUE" ODETipo="0"
      ODEMove="TRUE" MoveZ="TRUE" MoveY="TRUE" MoveX="TRUE"
      UserMove="TRUE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="255" R="255"
      Massa="1" Dim1="4" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
      Ang="0" Z="5" Y="0" X="0" ID="0" Nome="Objeto1" RowState="4"/>
  </ROWDATA>
</DATAPACKET>

```

```
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="TRUE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="TRUE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="TRUE" MoveY="TRUE" MoveX="TRUE"
  UserMove="TRUE" UsaCor="TRUE" A="94" B="0" G="0" R="255" Massa="1"
  Dim1="4" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0" Ang="0" Z="5"
  Y="0" X="10" ID="1" Nome="Objeto2" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="TRUE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="TRUE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="TRUE" MoveY="TRUE" MoveX="TRUE"
  UserMove="TRUE" UsaCor="TRUE" A="123" B="0" G="128" R="0" Massa="1"
  Dim1="4" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0" Ang="0" Z="5"
  Y="10" X="0" ID="2" Nome="Objeto3" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="TRUE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="TRUE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="TRUE" MoveY="TRUE" MoveX="TRUE"
  UserMove="TRUE" UsaCor="TRUE" A="164" B="255" G="0" R="0" Massa="1"
  Dim1="4" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="1" Ang="30"
  Z="30" Y="-3.5" X="0" ID="3" Nome="Objeto4" RowState="4"/>
</ROWDATA>
</DATAPACKET>
```

```

<?xml version="1.0" standalone="true"?>
<!-- Cena 2 - Esferas com gravidade -->
<DATAPACKET Version="2.0">
  - <METADATA>
    - <FIELDS>
      <FIELD WIDTH="20" fieldtype="string" attrname="Nome"/>
      <FIELD fieldtype="i4" attrname="ID"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="X"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Y"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Z"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Ang"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="eixoX"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="eixoY"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="eixoZ"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="SX"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="SY"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="SZ"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim1"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim2"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim3"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim4"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Massa"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="R"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="G"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="B"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="A"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="UsaCor"/>
      <FIELD WIDTH="255" fieldtype="string" attrname="Arquivo"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="UserMove"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MoveX"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MoveY"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MoveZ"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="ODEMove"/>
      <FIELD fieldtype="i4" attrname="ODETipo"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraRastroSempre"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraRastroSolto"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraVecV"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraVecA"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraEixoRot"/>
      <FIELD fieldtype="i4" attrname="TipoDeColisao"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Atrito"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="TemGravidade"/>
    </FIELDS>
    <PARAMS CHANGE_LOG="1 0 4 2 0 4 3 0 4 4 0 4"/>
  </METADATA>
  - <ROWDATA>
    <ROW TemGravidade="TRUE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
      MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="TRUE"
      MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
      ODEMove="TRUE" MoveZ="TRUE" MoveY="TRUE" MoveX="TRUE"
      UserMove="TRUE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="255" R="255"
      Massa="1" Dim1="4" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
      Ang="0" Z="5" Y="0" X="0" ID="0" Nome="Objeto1" RowState="4"/>
  </ROWDATA>
</DATAPACKET>

```



```
<ROW TemGravidade="TRUE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="TRUE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="TRUE" MoveY="TRUE" MoveX="TRUE"
  UserMove="TRUE" UsaCor="TRUE" A="94" B="0" G="0" R="255" Massa="1"
  Dim1="4" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0" Ang="0" Z="5"
  Y="0" X="10" ID="1" Nome="Objeto2" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="TRUE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="TRUE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="TRUE" MoveY="TRUE" MoveX="TRUE"
  UserMove="TRUE" UsaCor="TRUE" A="123" B="0" G="128" R="0" Massa="1"
  Dim1="4" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0" Ang="0" Z="5"
  Y="10" X="0" ID="2" Nome="Objeto3" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="TRUE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="TRUE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="TRUE" MoveY="TRUE" MoveX="TRUE"
  UserMove="TRUE" UsaCor="TRUE" A="164" B="255" G="0" R="0" Massa="1"
  Dim1="4" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="1" Ang="30"
  Z="30" Y="-3.5" X="0" ID="3" Nome="Objeto4" RowState="4"/>
</ROWDATA>
</DATAPACKET>
```

```

<?xml version="1.0" standalone="true"?>
<!-- Cena 3 - Três esferas -->
<DATAPACKET Version="2.0">
  - <METADATA>
    - <FIELDS>
      <FIELD WIDTH="20" fieldtype="string" attrname="Nome"/>
      <FIELD fieldtype="i4" attrname="ID"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="X"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Y"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Z"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Ang"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="eixoX"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="eixoY"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="eixoZ"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="SX"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="SY"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="SZ"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim1"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim2"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim3"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim4"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Massa"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="R"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="G"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="B"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="A"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="UsaCor"/>
      <FIELD WIDTH="255" fieldtype="string" attrname="Arquivo"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="UserMove"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MoveX"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MoveY"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MoveZ"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="ODEMove"/>
      <FIELD fieldtype="i4" attrname="ODETipo"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraRastroSempre"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraRastroSolto"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraVecV"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraVecA"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraEixoRot"/>
      <FIELD fieldtype="i4" attrname="TipoDeColisao"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Atrito"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="TemGravidade"/>
    </FIELDS>
    <PARAMS CHANGE_LOG="1 0 4 2 0 4 3 0 4"/>
  </METADATA>
  - <ROWDATA>
    <ROW TemGravidade="TRUE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
      MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="TRUE"
      MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
      ODEMove="TRUE" MoveZ="TRUE" MoveY="TRUE" MoveX="TRUE"
      UserMove="TRUE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="196" R="196"
      Massa="0.01" Dim1="3" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
      Ang="0" Z="25" Y="-10" X="10" ID="0" Nome="Objeto1" RowState="4"/>
  </ROWDATA>
</DATAPACKET>

```

```
<ROW TemGravidade="TRUE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="TRUE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="TRUE" MoveY="TRUE" MoveX="TRUE"
  UserMove="TRUE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="102" R="102"
  Massa="10" Dim1="3" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
  Ang="0" Z="25" Y="0" X="0" ID="1" Nome="Objeto2" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="TRUE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="TRUE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="TRUE" MoveY="TRUE" MoveX="TRUE"
  UserMove="TRUE" UsaCor="TRUE" A="0" B="225" G="0" R="0" Massa="100"
  Dim1="3" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0" Ang="0"
  Z="25" Y="10" X="-10" ID="2" Nome="Objeto3" RowState="4"/>
</ROWDATA>
</DATAPACKET>
```

```

<?xml version="1.0" standalone="true"?>
<!-- Cena 4 - Mesa -->
<DATAPACKET Version="2.0">
  - <METADATA>
    - <FIELDS>
      <FIELD WIDTH="20" fieldtype="string" attrname="Nome"/>
      <FIELD fieldtype="i4" attrname="ID"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="X"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Y"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Z"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Ang"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="eixoX"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="eixoY"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="eixoZ"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="SX"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="SY"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="SZ"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim1"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim2"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim3"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim4"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Massa"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="R"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="G"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="B"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="A"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="UsaCor"/>
      <FIELD WIDTH="255" fieldtype="string" attrname="Arquivo"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="UserMove"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MoveX"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MoveY"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MoveZ"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="ODEMove"/>
      <FIELD fieldtype="i4" attrname="ODETipo"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraRastroSempre"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraRastroSolto"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraVecV"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraVecA"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraEixoRot"/>
      <FIELD fieldtype="i4" attrname="TipoDeColisao"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Atrito"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="TemGravidade"/>
    </FIELDS>
    <PARAMS CHANGE_LOG="1 0 4 2 0 4 3 0 4 4 0 4 5 0 4 6 0 4 7 0 4 8 0 4"/>
  </METADATA>
  - <ROWDATA>
    <ROW TemGravidade="TRUE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
      MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
      MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="2"
      ODEMove="FALSE" MoveZ="FALSE" MoveY="FALSE" MoveX="FALSE"
      UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="0" G="0" R="128"
      Massa="100000" Dim3="10" Dim2="1" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1"

```

```

eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0" Ang="0" Z="5" Y="5" X="5" ID="0"
Nome="Perna 1" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="TRUE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="2"
ODEMove="FALSE" MoveZ="FALSE" MoveY="FALSE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="0" G="0" R="128"
Massa="100000" Dim3="10" Dim2="1" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1"
eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0" Ang="0" Z="5" Y="5" X="-5" ID="1"
Nome="Perna 2" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="TRUE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="2"
ODEMove="FALSE" MoveZ="FALSE" MoveY="FALSE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="0" G="0" R="128"
Massa="100000" Dim3="10" Dim2="1" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1"
eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0" Ang="0" Z="5" Y="-5" X="-5" ID="2"
Nome="Perna 3" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="TRUE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="2"
ODEMove="FALSE" MoveZ="FALSE" MoveY="FALSE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="0" G="0" R="128"
Massa="100000" Dim3="10" Dim2="1" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1"
eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0" Ang="0" Z="5" Y="-5" X="5" ID="3"
Nome="Perna 4" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="TRUE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="2"
ODEMove="FALSE" MoveZ="FALSE" MoveY="FALSE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="0" G="0" R="128"
Massa="100000" Dim3="1" Dim2="11" Dim1="11" SZ="1" SY="1" SX="1"
eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0" Ang="0" Z="10.5" Y="0" X="0" ID="4"
Nome="Tampo" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="TRUE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="2"
ODEMove="FALSE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="TRUE" UsaCor="TRUE" A="0" B="0" G="128" R="255"
Massa="1000" Dim3="2" Dim2="1" Dim1="11" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0"
eixoY="0" eixoX="0" Ang="0" Z="13" Y="0" X="0" ID="5" Nome="Barra"
RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="TRUE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="TRUE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="TRUE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="FALSE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="0" G="0" R="255"
Massa="1000" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="13" Y="4.5" X="3" ID="6" Nome="Bolinha Pesada" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="TRUE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="TRUE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="TRUE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="FALSE" MoveX="FALSE"

```

```
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="0" G="128" R="0" Massa="10"
Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0" Ang="0"
Z="13" Y="4.5" X="-3" ID="7" Nome="Bolinha Leve" RowState="4"/>
</ROWDATA>
</DATAPACKET>
```

```

<?xml version="1.0" standalone="true"?>
<!-- Cena 5 - Nave -->
<DATAPACKET Version="2.0">
  - <METADATA>
    - <FIELDS>
      <FIELD WIDTH="20" fieldtype="string" attrname="Nome"/>
      <FIELD fieldtype="i4" attrname="ID"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="X"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Y"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Z"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Ang"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="eixoX"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="eixoY"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="eixoZ"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="SX"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="SY"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="SZ"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim1"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim2"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim3"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Dim4"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Massa"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="R"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="G"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="B"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="A"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="UsaCor"/>
      <FIELD WIDTH="255" fieldtype="string" attrname="Arquivo"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="UserMove"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MoveX"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MoveY"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MoveZ"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="ODEMove"/>
      <FIELD fieldtype="i4" attrname="ODETipo"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraRastroSempre"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraRastroSolto"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraVecV"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraVecA"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="MostraEixoRot"/>
      <FIELD fieldtype="i4" attrname="TipoDeColisao"/>
      <FIELD fieldtype="r8" attrname="Atrito"/>
      <FIELD fieldtype="boolean" attrname="TemGravidade"/>
    </FIELDS>
    <PARAMS CHANGE_LOG="1 0 4 2 0 4 3 0 4 4 0 4 5 0 4 6 0 4 7 0 4 8 0 4 9 0 4 10 0 4
      11 0 4 12 0 4 13 0 4 14 0 4 15 0 4 16 0 4 17 0 4 18 0 4 19 0 4 20 0 4 21 0 4 22 0 4 23
      0 4 24 0 4 25 0 4 26 0 4 27 0 4 28 0 4 29 0 4 30 0 4 31 0 4 32 0 4 33 0 4 34 0 4 35 0 4
      36 0 4"/>
  </METADATA>
  - <ROWDATA>
    <ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
      MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
      MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
      ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"

```



```

UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="2" Y="-10" X="0" ID="0" Nome="Objeto1" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="5" Y="-10" X="0" ID="1" Nome="Objeto2" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="8" Y="-10" X="0" ID="2" Nome="Objeto3" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="11" Y="-10" X="0" ID="3" Nome="Objeto4" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="14" Y="-10" X="0" ID="4" Nome="Objeto5" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="17" Y="-10" X="0" ID="5" Nome="Objeto6" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="20" Y="-10" X="0" ID="6" Nome="Objeto7" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="2" Y="-5" X="0" ID="7" Nome="Objeto8" RowState="4"/>

```



```

<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
  UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
  Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
  Ang="0" Z="5" Y="-5" X="0" ID="8" Nome="Objeto9" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
  UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
  Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
  Ang="0" Z="8" Y="-5" X="0" ID="9" Nome="Objeto10" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
  UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
  Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
  Ang="0" Z="11" Y="-5" X="0" ID="10" Nome="Objeto11" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
  UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
  Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
  Ang="0" Z="14" Y="-5" X="0" ID="11" Nome="Objeto12" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
  UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
  Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
  Ang="0" Z="17" Y="-5" X="0" ID="12" Nome="Objeto13" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
  UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
  Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
  Ang="0" Z="20" Y="-5" X="0" ID="13" Nome="Objeto14" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
  UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
  Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
  Ang="0" Z="2" Y="-0" X="0" ID="14" Nome="Objeto15" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"

```

```

UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="5" Y="-0" X="0" ID="15" Nome="Objeto16" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="8" Y="-0" X="0" ID="16" Nome="Objeto17" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="11" Y="-0" X="0" ID="17" Nome="Objeto18" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="14" Y="-0" X="0" ID="18" Nome="Objeto19" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="17" Y="-0" X="0" ID="19" Nome="Objeto20" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="20" Y="-0" X="0" ID="20" Nome="Objeto21" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="2" Y="5" X="0" ID="21" Nome="Objeto22" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="5" Y="5" X="0" ID="22" Nome="Objeto23" RowState="4"/>

```

```

<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
  UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
  Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
  Ang="0" Z="8" Y="5" X="0" ID="23" Nome="Objeto24" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
  UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
  Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
  Ang="0" Z="11" Y="5" X="0" ID="24" Nome="Objeto25" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
  UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
  Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
  Ang="0" Z="14" Y="5" X="0" ID="25" Nome="Objeto26" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
  UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
  Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
  Ang="0" Z="17" Y="5" X="0" ID="26" Nome="Objeto27" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
  UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
  Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
  Ang="0" Z="20" Y="5" X="0" ID="27" Nome="Objeto28" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
  UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
  Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
  Ang="0" Z="2" Y="10" X="0" ID="28" Nome="Objeto29" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
  UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
  Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
  Ang="0" Z="5" Y="10" X="0" ID="29" Nome="Objeto30" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
  MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
  MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
  ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"

```

```

UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="8" Y="10" X="0" ID="30" Nome="Objeto31" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="11" Y="10" X="0" ID="31" Nome="Objeto32" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="14" Y="10" X="0" ID="32" Nome="Objeto33" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="17" Y="10" X="0" ID="33" Nome="Objeto34" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="FALSE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="FALSE" ODETipo="0"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="TRUE" MoveX="FALSE"
UserMove="FALSE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="174" R="174"
Massa="100" Dim1="1" SZ="1" SY="1" SX="1" eixoZ="0" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="0" Z="20" Y="10" X="0" ID="34" Nome="Objeto35" RowState="4"/>
<ROW TemGravidade="FALSE" Atrito="0.5" TipoDeColisao="1"
MostraEixoRot="FALSE" MostraVecA="FALSE" MostraVecV="TRUE"
MostraRastroSolto="FALSE" MostraRastroSempre="TRUE" ODETipo="4"
ODEMove="TRUE" MoveZ="FALSE" MoveY="FALSE" MoveX="TRUE"
UserMove="TRUE" UsaCor="TRUE" A="0" B="255" G="255" R="255"
Massa="100" SZ="0.05" SY="0.05" SX="0.05" eixoZ="1" eixoY="0" eixoX="0"
Ang="90" Z="10" Y="0" X="-20" ID="35" Nome="Objeto36" RowState="4"
Arquivo="C:\Users\oswirad\Desktop\Gerador de Cenas\Objetos\ncc1701d.obj"/>
</ROWDATA>
</DATAPACKET>

```