UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

O USO DE REALIDADE AUMENTADA PARA MEDIÇÃO DE MOVIMENTOS

Orientador: Alexandre Cardoso, Dr
Co-Orientador: Edgard Lamounier Júnior, Dr
Orientando: Márcio Antônio Duarte

Agosto
2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

O USO DE REALIDADE AUMENTADA PARA MEDIÇÃO DE MOVIMENTOS

Dissertação apresentada por Márcio Antônio Duarte à Universidade Federal de Uberlândia para obtenção do título de Mestre em Ciências, aprovada em 11/08/2006 pela Banca Examinadora:

Alexandre Cardoso, Dr (UFU) - Orientador
Edgard Lamounier Júnior, PhD (UFU) - Co-orientador
Luciano Vieira Lima, Dr (UFU)
Ildeberto Aparecido Rodello, Dr (UNIVEM/UNESP)

O USO DE REALIDADE AUMENTADA PARA MEDIÇÃO DE MOVIMENTOS

MÁRCIO ANTÔNIO DUARTE

Dissertação apresentada por Márcio Antônio Duarte à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Alexandre Cardoso, Dr.
Orientador

Darizon Alves de Andrade, Phd
Coordenador

Se não houve frutos, valeu a beleza das flores;
se não houve flores, valeu a sombra das folhas;
se não houve folhas, valeu a intenção da semente.

Henfil

Agradecimentos

A DEUS, por ter me concedido a vida que tenho e ter sempre iluminadado os meus caminhos e feito com que eu sempre fizesse as escolhas corretas.

Aos meus pais, pela educação que me deram.

Ao meu orientador Alexandre Cardoso, pela paciência, dedicação, competência, orientação e por todo ensinamento passado durante o curso.

Aos Professores Edgard Lamounier Júnior e Eduardo Kojy Takahaschi, pelas sugestões, apoio, dedicação e contribuições fornecidas.

Aos meus amigos do laboratório de Computação Gráfica Marlene Marques, Marlene Roque, Kenedy, Wneiton e Luciano, pela troca de conhecimento, experiências e pela amizade.

Ao Arquimedes, que muitas vezes parou o seu trabalho para tirar minhas dúvidas.

Em especial, uma pessoa que encontrei durante essa jornada e que me fez ver a vida de uma forma diferente e que me deu força e perseverança para seguir em frente. A ti todo meu reconhecimento, agradecimento e carinho.

Aos meus amigos e colegas de trabalho da UFG e CESUC de Catalão/GO, que por diversas vezes ajudaram-me através de substituições, para que eu pudesse comparecer aos congressos.

Aos demais mestres e amigos, que foram, em níveis diferentes, fundamentais para a minha formação e que me prestaram auxílio em muitas ocasiões.

Resumo

DUARTE, Márcio A. *O Uso de Realidade Aumentada para Medição de Movimento*, Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica - UFU, 2006.
Palavras Chaves: Realidade Aumentada, Realidade Virtual, Medição de Movimento.

O desenvolvimento deste trabalho apresenta a adequação de métodos e técnicas de Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV), para suporte à Medição de Movimentos, que é a análise realizada pela concordância das observações com as medições de fenômenos físicos. A utilização da técnica de RA se deu pelo fato desta permitir a inserção de objetos virtuais, como textos, imagens 2D, ou modelos 3D em imagens do ambiente real. Assim, é proposto a elaboração de um sistema computacional para que a coleta de informações, tais como a velocidade e a aceleração, sejam feitas pela análise de imagens obtidas de um ambiente real e/ou de objetos em movimento. Com um estudo de caso envolvendo um experimento físico com base na utilização de um *Air Track* (Trilho de Ar), que abrange os princípios mecânicos e cinemáticos, se pôde aplicar as técnicas e os métodos estudados. Na implementação do sistema, utilizou-se a biblioteca ARToolKit, que permite o desenvolvimento de aplicações de Realidade Aumentada com suporte da linguagem VRML *(Virtual Reality Modeling Language)* utilizada para a modelagem dos objetos virtuais. Para dar suporte a todo esse contexto, foram feitas entrevistas, lançando mão de questionários aplicados a usuários potenciais e, que após analisados, fez-se possível identificar que o sistema se mostrou útil, atingindo o objetivo proposto.

Abstract

DUARTE, Marcio A. The Use of Augmented Reality for Quantitative Movement Measurement, Uberlandia, Eletric Engineering Faculty - UFU, 2006.
Key-words: Augmented Reality, Virtual reality, Measurement of Movements.

The formulation of this work aims to present the suitability of Virtual Reality and Augmented Reality's methods and techniques in supporting the Measurement of Movements, which is the analysis between the observations and the physical phenomena measurement, in agreement. The use of the RA technique if gave for the fact of this to allow the virtual object insertion, as texts, images 2D, or models 3D in images of the real environment. Thus, it is proposed the development of a software in order to collect information such as speed and the acceleration by the analysis of capture images from a real environment and moving objects. A case study involving a physical experiment based on the use of an Air Track, which integrates both mechanics and kinematics principles, made possible the application of the techniques and methods formerly studied. The ARToolKit library has been used in the system's implementation. It allows the generation of Augmented Reality applications with VRML language support, which is used for modeling the virtual environment Interviews have been made by adopting a questionnaire form applied to potential users to sustain (assist) all this context. After being analysed, the system has shown itself useful in achiever the goals above.

Lista de Publicações

A seguir são apresentadas as publicações deste trabalho:

DUARTE, Márcio A.; CARDOSO, Alexandre; LAMOUNIER, Edgard Jr. *O Uso de Realidade Aumentada no Ensino de Física*. (2005). In: Workshop de Realidade Aumentada, Piracicaba.

DUARTE, Márcio A.; CARDOSO, Alexandre; LAMOUNIER, Edgard Jr.. *Realidade Aumentada no Auxílio do Ensino de Física*. (2005). In: Workshop de Aplicação de Realidade Virtual, Uberlândia.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 Motivação 1

1.2 Análise de Movimentos 4

1.3 Objetivos 5

1.4 Organização da Dissertação 6

2 TECNOLOGIAS RELACIONADAS 7

2.1 Introdução 7

2.2 A Realidade Virtual em Aplicações Educacionais 7

2.3 Realidade Aumentada 10

2.4 Realidade Aumentada no Ensino 13

2.5 Software ARToolKIT 15

2.6 Considerações Finais 19

3 TRABALHOS RELACIONADOS 20

3.1 Introdução 20

3.2 Sistema Contador de Estórias - *Story Telling System* 20

3.3 Realidade Aumentada no Ensino Musical 22

3.4 Livro de Sólidos Geométricos 24

3.5 O Sistema EIC-RA 25

3.6 O Livro Mágico - *MagicBook* 26

3.7 SAM (Sistema Digital para Análise de Movimentos) 27

3.8 Considerações Finais 28

4 CONCEPÇÃO DO SISTEMA 30

4.1 Introdução 30

4.2 Arquitetura 30

4.3 Módulo ARToolKit 31

4.4 Módulo de Parametrização 34

4.5 Gerador de Objetos Virtuais 34
4.6 Atualizador de Objetos Virtuais 35
4.7 Considerações Finais 35

5 IMPLEMENTAÇÃO 36
5.1 Introdução 36
5.2 Alterações no ARToolKit 36
5.3 Geração dos Ambientes Virtuais 40
5.4 Atualização dos Objetos Virtuais 42
5.5 Estudo de Caso 45
5.5.1 Análise de Movimentos no Experimento 45
5.6 Implementação dos Marcadores 47
5.7 Considerações Finais 52

6 RESULTADOS E LIMITAÇÕES DO SISTEMA 53
6.1 Introdução 53
6.2 Avaliação do Sistema 53
6.2.1 Medição de Valores 53
6.3 Limitações do Sistema 54
6.3.1 Iluminação 54
6.3.2 Visão da câmera 55
6.3.3 Rastreamento 57
6.3.4 Erros Percebidos 58
6.3.5 Testes com Usuários Potenciais 61
6.4 Considerações Finais 67

7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS 68
7.1 Introdução 68
7.2 Trabalhos Futuros 69

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 70

ANEXO 74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Realidade Aumentada 03
Figura 2: Realidade e Virtualidade 10
Figura 3: Modelagem do sistema de RA ótico 11
Figura 4: Modelagem do sistema de RA utilizando video 12
Figura 5: Modelagem do sistema RA utilizando monitor 13
Figura 6: Análise da Imagem 17
Figura 7: Processamento de ARToolKit 17
Figura 8: Story Telling System 21
Figura 9: Aprendizado Musical 22
Figura 10: Notas Musicais com pentagrama 23
Figura 11: Livro de Sólidos Geométricos 24
Figura 12: EIC Quebra Cabeça 25
Figura 13: Magic Book 26
Figura 14: Software SAM 28
Figura 15: Arquitetura do Sistema. 31
Figura 16: Diagrama de Módulos 32
Figura 17: Diagrama de Atividades UML 33
Figura 18: Módulo de Parametrização 34
Figura 19: Atualização de Objetos Virtuais 35
Figura 20: Código para Inversão da Imagem da Câmera 36
Figura 21: Inversão da Imagem da Câmera. 37
Figura 22: Movimento Retilíneo Uniforme 38
Figura 23: Movimento Retilíneo Uniformemente Variável 38
Figura 24: Movimento de Queda Livre 39
Figura 25: Movimento Circular 39
Figura 26: Movimento Pêndulo Simples 39
Figura 27: Código VRML 40
Figura 28: Resultado VRML 41
Figura 29: Código para gerar o arquivo VRML 41

Figura 30: Código para a função Vrml97ReloadFile 43
Figura 31: Atualização do Objeto Virtual no Simple VRML 44
Figura 32: Código para detectar marcador e iniciar o temporizador 44
Figura 33: Trilho de Ar (Segunda Lei de Newton) 46
Figura 34: Forças sobre os corpos 46
Figura 35: Marcadores Abertos 48
Figura 36: Marcador Fechado Exibindo a Velocidade. 48
Figura 37: Marcador Fechado Exibindo os Valores Iniciais 49
Figura 38: Marcador aberto 49
Figura 39: Experimento com Marcadores 49
Figura 40: Marcador Tipo 1 50
Figura 41: Marcador Tipo 2 51
Figura 42: Atraso ocorrido no início do experimento 51
Figura 43: Sensores e Temporizador 54
Figura 44(a): Visualização Frontal da Câmara 56
Figura 44(b): Câmara ao Lado 56
Figura 45: Imagem Capturada pela Segunda Câmera 58
Figura 46: Experimento 1 59
Figura 47: Experimento 2 60
Figura 48: Erro Relativo Experimento 1 60
Figura 49: Erro Relativo Experimento 2 61

LISTA DE ABREVIATURAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
Δt	Variação de tempo
ASCII	American Standard Code for Information Intercharge
EAI	External Authoring Interface
GUI	Graphical User Interface
HMD	Head Mounted Display
HTML	HiperText Markup Language
MPEG	Moving Picture Experts Group
OpenGL	Open Graphics Library
RA	Realidade Aumentada
RM	Realidade Misturada
RV	Realidade Virtual
USB	Universal Serial Bus
VA	Virtualidade Aumentada
VRML	Virtual Reality Modelling Language
WEB3D	Consórcio internacional de padronização para imagens 3D na web
X3D	Padrão aberto de exibição de imagens tridimensionais
XML	Extensible Markup Language

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

Nos dias atuais o cenário tecnológico passa por uma série de transformações que anunciam a instalação de uma nova era, implicando em profundas mudanças nas áreas econômicas, política, social, cultural e tecnológica, despertando com isso, o interesse de cientistas das mais diversas áreas, desde os voltados ao desenvolvimento e manutenção de novas tecnologias, até os que têm se dedicado às pesquisas nos campos da cognição e educação.

Neste contexto, a Informática exige dos indivíduos um conjunto de habilidades que os permitem dominar processos cognitivos e práticos para que vivam em um mundo onde a adaptabilidade, flexibilidade e criatividade são habilidades essenciais [Silva, 2001].

Segundo Silva (2001), o uso ou a incorporação das novas tecnologias da Informática e Telemática nos processos educativos têm implicações diversas e ainda representam um salto de dimensões desconhecidas. Estas vão além das questões pedagógicas, e ultrapassam de longe os muros de uma escola ou de uma sala de aula. Com o uso da informática, é possível estimular o raciocínio das pessoas, capacitando-as à resolução de situações de problemáticas complexas.

Uma das aproximações populares de como usar a informática dentro do ensino/aprendizado é fundamentar simulações e visualizações de vários fenômenos naturais. Essas visualizações e simulações reúnem dois campos divergentes, as ciências tradicionais (como Física, Química, Biologia, por exemplo) e gráficos de computador [Pantelidis, 1996].

Um dos problemas de tais simulações é que os estudantes às vezes possuem dificuldades em compreender o abstrato, mesmo através da visualização de imagens no espaço 3D.

A questão está em como diminuir a abertura entre o mundo real que nos cerca e os modelos abstratos nos quais são usados nas simulações.

A solução mais freqüente para este problema é encontrada em alguns filmes educacionais Multimídia. Essa tecnologia pode fazer uso simultâneo de dados em diferentes formas, envolvendo áudio, vídeo, texto, animações, etc [Buford, 1994]. Desta forma, eventos, que na vida real apresentam algum tipo de fenômeno, podem ser misturados com informações em algum ambiente virtual.

Recentemente, foram propostos também como solução para entendimento desses modelos abstratos as possibilidades oferecidas através da Realidade Virtual (RV).

Segundo Kirner (2004), a RV pode ser definida como a forma mais avançada de interface do usuário de computador até agora disponível, pois permite as pessoas visualizarem, manipularem e interagirem com computadores e dados extremamente complexos.

Outra definição defendida por Souza (1997), é que a RV pode ser definida como uma simulação gerada por computador de um mundo real ou imaginário. Em um ambiente de RV, o usuário tem a sensação de participação, pois se torna parte da ação na tela, o que diminui a distância entre o real e o virtual. Esta participação trata-se de uma das características de sistemas de RV que é a imersão, onde um usuário interage dentro do ambiente virtual gerando um grau de envolvimento maior.

Entretanto, estas soluções só idealizam modelos de ambientes totalmente virtuais. Uma forma de integrar ambientes reais com modelos abstratos virtuais é usar de Realidade Aumentada (RA).

A RA é uma tecnologia que tenta aumentar o ambiente real que circunda um usuário através da inserção de objetos virtuais na imagem do mundo real, como textos, imagens 2D, ou modelos 3D, para a exibição de uma maneira realística.

Segundo Azuma (1997), a RA pode ser definida como uma área de pesquisa que pretende desenvolver mundos que combinem o mundo real observado pelo usuário, com uma cena virtual gerada por computador e que aumente o mundo real com informação adicional.

Utilizando a tecnologia de RA, é possível desenvolver um sistema que permite integrar imagens reais e virtuais, oferecendo ao usuário a possibilidade de interação com os elementos presentes no ambiente. O usuário tem a possibilidade de manipular o cenário criado sem o uso de mouse ou teclado.

Como a RA é a sobreposição de imagens virtuais de computação gráfica sobre cenas do mundo real, ela possui potencial para muitas aplicações, desde pesquisas industriais até a área acadêmica.

A Figura 1 ilustra a utilização da RA na reconstrução de um ambiente. Nela pode-se visualizar duas imagens, uma original e outra mostrando virtualmente como seria ou foi este ambiente.

Figura 1: Realidade Aumentada

Na verdade, a RA representa uma aproximação semelhante assim como é oferecido em filmes educacionais, com sucessões de ambientes reais misturados com objetos virtuais. Além disto, RA dá a possibilidade da interação do usuário com mundo misturado.

A motivação atrás da RA, é que um usuário possui as habilidades visuais do espaço do mundo real, podendo interagir com objetos gerados por computador, ou receber informações adicionais sobre objetos do mundo real.

Entretanto, observa-se que a maioria dos sistemas baseados em RA, limita-se a inserir informações estáticas no ambiente real, de forma a complementar uma cena estática com uma dada informação.

A proposta deste trabalho é utilizar RA para apresentar, dinamicamente, informações associadas à mudança do cenário que está sendo utilizado no mundo real, de forma a possibilitar que experimentos relacionados a fenômenos físicos que envolvam movimentos possam ser analisados e melhor compreendidos por meio de técnicas de RV e RA .

1.2 Análise de Movimentos

A Física é uma ciência empírica. Tudo que se sabe a respeito do mundo físico e sobre os princípios que governam o seu comportamento foi apreendido através de observações dos fenômenos da Natureza. O teste final de qualquer teoria física é a sua concordância com observações e medidas de fenômenos físicos [Sears et al, 1983].

Segundo Lorde Kelvin [Sears, 1983], "quando se pode medir aquilo de que se está falando e exprimir essa medida em números, fica-se sabendo algo a seu respeito; mas quando não se pode exprimí-la em números, o conhecimento é limitado e insatisfatório. Ele pode ser o começo do conhecimento, mas o pensamento terá avançado muito pouco para o estágio científico, qualquer que seja o assunto".

Para a resolução de problemas relacionados a análise de movimentos, segue-se algumas sugestões:

A primeira sugestão é esquematizar o movimento. Por exemplo, convém, em geral:

- Esboçar a trajetória;
- Representar passo-a-passo o movimento em intervalos de tempo convenientes (0,5 s; ou 1,0 s; ou 10 s; etc.);
- Marcar o referencial no esquema da trajetória;
- Assinalar as condições iniciais, isto é, a situação do movimento no instante em que se começa a medir o tempo (t = 0 s): velocidade inicial, posição inicial, aceleração, resultante das forças, etc.

A segunda sugestão consiste em, esquematizado o movimento, analisar semi-quantitativamente o que se passa ao longo do tempo. Por exemplo:

- O movimento é para a esquerda, para a direita, para cima, para baixo, no sentido positivo de Ox (ou de Oy), no sentido negativo de Ox (ou de Oy), etc;
- A resultante das forças varia?
- A velocidade varia?
- A aceleração varia?
- Aceleração e a resultante das forças têm a direção e o sentido da velocidade? Sempre ou apenas durante um certo intervalo de tempo?

Desta análise semi-quantitativa do movimento pode, muitas vezes, concluir-se qual é a representação gráfica das várias grandezas ao longo do tempo.

A terceira sugestão é uma recomendação para não confundir:

- Trajetória com qualquer gráfico;
- Velocidade com aceleração;
- Componentes escalares das grandezas vetoriais (deslocamento, velocidade, aceleração, força, etc.) com as respectivas magnitudes ou módulos.

De fato, as magnitudes ou módulos das grandezas vetoriais são sempre nulas ou positivas. Pelo contrário, as respectivas componentes escalares podem ser positivas, nulas ou negativas.

A quarta sugestão consiste em escrever e resolver as equações adequadas.

A quinta é de apresentar as críticas necessárias mediante as soluções matemáticas das equações, fazendo uma análise se os resultados têm sentido físico, e se alguns valores não serão fisicamente absurdos, se as unidades estarão corretas e se os resultados serão coerentes com o que se propunha a princípio [Modellus, 2006].

Portanto, a resolução de problemas de movimentos é, quase sempre, uma tarefa bastante acessível, se tiverem em conta as sugestões citadas anteriormente.

1.3 Objetivos

O objetivo do trabalho é mostrar as possibilidades de visualização de informações utilizando recursos de desenvolvimento e técnicas de RA voltadas para o ensino. Embasado neste contexto, tem-se como objetivo também, desenvolver um método computacional capaz de medir e quantificar movimentos de objetos, possibilitando a contemplação e utilização de tais recursos nos ambientes de análises aplicados ao ensino e pesquisa. Para alcançar tal objetivo, seguem-se as metas propostas durante a apresentação desta dissertação:

- Avaliar sistemas de RA relacionados a educação e análise de movimentos, bem como seus pontos fortes e fracos, critérios de aplicação, possibilidades de utilização para o ensino de medição quantitativa de movimentos;
- Compreender a metodologia, plataforma, utilização dos sistemas de apoio destinados ao desenvolvimento de um sistema de RA;

- Desenvolver de um sistema de RA (SMMAR - Sistema de Medição de Movimentos por RA) bem como ilustrar as dificuldades encontradas;
- Apresentar os resultados obtidos mediante a utilização do sistema de RA, junto aos usuários em potencial, detalhando principais dificuldades encontradas, informações de desempenho e outras que se julgarem necessárias.

1.3 Organização da Dissertação

O texto relacionado a este trabalho está dividido em sete capítulos, sendo este o primeiro deles.

O Capítulo 2 aborda algumas fundamentações do uso da RV como ferramenta educacional e as características mais importantes das tecnologias de apoio (ARToolKit, VRML).

No Capítulo 3 são apresentados alguns trabalhos relacionados a área de RA e programas para análise quantitativa de movimento, mostrando suas vantagens, limitações e desvantagens.

No Capítulo 4 apresenta-se uma análise do sistema proposto, descrevendo-se a arquitetura do sistema e seus módulos .

No Capítulo 5 são descritas as técnicas utilizadas para a implementação do estudo de caso para análise quantitativa de movimento.

O Capítulo 6 faz uma análise dos resultados obtidos com o sistema e suas limitações.

Por fim, no Capítulo 7 são apresentadas as conclusões obtidas neste trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Tecnologias Relacionadas

2.1 Introdução

Nos dias atuais o convívio humano com os computadores, altas tecnologias e acesso virtual ao mundo global, é parte do cotidiano das pessoas. Não fugindo deste contexto, as tecnologias computacionais podem ser vistas e utilizadas como ferramentas educacionais, o que não é novo, pois desde longa data já estão sendo utilizadas.

Á medida que a tecnologia avança no desenvolvimento de novos equipamentos e aplicações, também se busca a adaptação dessas evoluções ao ambiente de aprendizagem, explorando suas potencialidades em relação às novas descobertas na área da Educação.

Uma vez que a proposta deste trabalho é a criação de um sistema que auxilie o usuário na compreensão e visualização de informações em tempo real, é necessário que se conheça melhor as tecnologias de Realidade Virtual e Realidade Aumentada.

Para isto, este capítulo apresenta algumas fundamentações sobre o uso de RV e RA em ambientes educacionais, assim como a ferramenta de apoio ARToolKit [Kato, 1999] destinada ao desenvolvimento de aplicações em RA

2.2 A Realidade Virtual em Aplicações Educacionais

Dentro de um processo educativo, o usuário experimenta a observação e a exploração de diferentes realidades para a construção de seu conhecimento. Até pouco tempo, essa exploração encontrava-se restrita ao mundo real, e o desenvolvimento de tecnologias computacionais rompeu esse paradigma, ampliando os limites dessa realidade e permitindo, de forma virtual, a "materialização da imaginação".

A RV enquadra-se no contexto onde nos é permitido aprender visitando lugares onde jamais estaremos na vida real, talvez porque o lugar seja muito pequeno para ser visto ou

muito grande para ser examinado como um todo, ou ainda muito caro ou muito distante. Ela permite que movamos coisas que são muito pesadas, muito leves ou muito caras e perigosas para mover. Também ainda é permitido que visitemos lugares em períodos diferentes de tempo e com uma rapidez tão grande que, sem ela, seria impossível fazê-lo em uma vida toda. É possível por exemplo, ver nosso mundo hoje e em um instante viajarmos 10 mil anos no passado e ver como era naquela época.

A potencialidade da RV está exatamente no fato de permitir a exploração de alguns ambientes, processos ou objetos, não por meio de livros, fotos, filmes ou aulas, mas por meio da manipulação e análise virtual do próprio alvo do estudo [Pinho, 1996].

Exatamente essa possibilidade de interação do usuário com o ambiente que lhe é apresentado, através de um intercâmbio sensorial que estimula a exploração. Em outras palavras, além de receber os estímulos provocados pelo universo criado artificialmente, o usuário pode interferir nesse universo através de ações que simulam sua interação com o mundo real ou outro, totalmente virtual.

Analisando pelo âmbito educacional, existem duas formas de aprendizagem do mundo. A primeira, denominada "experiências de 1ª pessoa", é resultado da interação diária do indivíduo com o mundo e a percepção que essa interação lhe transfere através de sua participação direta. A segunda chamada pelo autor de "experiências de 3ª pessoa", é o conhecimento do mundo através da descrição que é feita por alguém. Enquanto a primeira é direta, subjetiva e muitas vezes inconsciente, apesar de mais freqüente, a segunda é objetiva, consciente e explícita, pois o receptor sempre sabe que está adquirindo o conhecimento por meio de outra pessoa [Pinho, 1996].

Sob esse ponto de vista, o uso cotidiano do computador é uma experiência de 3ª pessoa. Por mais que haja uma interação através do teclado ou do mouse, o usuário sempre tem a percepção de que uma informação lhe está sendo transmitida. A idéia de "imersão" contida na RV transfere a experiência para a 1ª pessoa, criando condições onde o usuário não tenha que criar metáforas para relacionar o dado da tela com o real e sim possa explorar o dado como se ele de fato existisse.

Braga (2001, p. 4) destaca que as características da RV (imersão, interação e envolvimento) são totalmente apropriadas para sua utilização no ensino já que compõem um trabalho multidisciplinar que enriquece o ambiente de aprendizagem. Segundo ela, a RV em seu conjunto reúne especificidades e atributos que a torna uma ferramenta ideal para as múltiplas situações e contextos de pesquisa e aprendizagem. Cada um tem o seu estilo de

aprendizagem, uns visuais, outros verbais, uns gostam de explorar e outros preferem deduzir. Mas o interessante da RV é que em cada um desses estilos ela possa ser usada de forma diferente. Sendo assim, permite também a criação de ambientes onde a aprendizagem se realiza por etapas, sendo as barreiras entre as etapas facilmente colocadas ou removidas.

A autora sintetiza também as diversas razões para se utilizar a RV no ensino, sendo as principais:

- Maior motivação para a aprendizagem por promover uma participação ativa do estudante com o objeto de estudo;
- Grande poder de ilustração do que se pretende explorar, superior ao da maioria das mídias comumente utilizadas;
- Facilidade de aproximação ou afastamento do usuário, ampliando as possibilidades de análise e observação do fenômeno;
- Adaptação às características e ao ritmo de aprendizado individual de cada aluno, facilitando sua assimilação do contexto e do conteúdo;
- Possibilidade de criação e exploração de ambientes e processos considerados abstratos no mundo real.

Entende-se que os métodos atuais de ensino, conhecimento e pesquisa, contam com o apoio da tecnologia que os possibilita atuar de forma lógica, dando vazão a aprendizagem de modo claro e real, contando com os recursos da imaginação e compreensão dos fatos, mediante a RA e a RV. Estas tecnologias contam com um recurso ao seu lado, quando vista no contexto do ensino para indivíduos estimularem a capacidade de imaginação, sendo este imprescindível para o bom desenvolvimento do mesmo.

Desta forma, a introdução da RV no ensino/aprendizagem demonstra um novo paradigma que relata um ensino de forma dinâmica, criativa, colocando o aluno no centro dos processos de aprendizagem e buscando uma formação de um ser crítico, independente e construtor de seu conhecimento.

2.3 Realidade Aumentada

Por mais avançadas que sejam as tecnologias de criação de RV, a percepção humana consegue distinguir claramente sua artificialidade. Para reduzir essa sensação de afastamento da realidade, foram criadas novas formas de interação, introduzindo-se elementos do mundo real em conjunto com a RV. Essa tecnologia recebeu o nome de Realidade Misturada (*Mixed Reality*) e pode ser representada de duas maneiras, dependendo da preponderância dos elementos reais e virtuais no resultado final apresentado ao usuário.

Segundo Providelo (2004, p. 1), a Realidade Misturada (RM) abrange tanto a Realidade Aumentada quanto a Virtualidade Aumentada (VA). A primeira consiste no "enriquecimento do ambiente real com objetos virtuais, através de algum dispositivo tecnológico funcionando em tempo real", enquanto a segunda "permite a inserção de elementos reais em ambientes virtuais, possibilitando interação." Em outras palavras, o que distingue a RA da VA é o grau de preponderância do real sobre o virtual, conforme as próprias denominações indicam.

A Figura 2 apresenta o diagrama da identificação dos ambientes quando partes virtuais e reais começam a se misturarem.

Figura 2: Realidade e Virtualidade [Billinghurst, 2002].

Segundo Azuma (2001), a Realidade Aumentada pode ser definida como um sistema que suplementa o mundo real com objetos virtuais gerados por computador, parecendo coexistir no mesmo espaço e apresentando as seguintes propriedades:

- Combina objetos reais e virtuais no ambiente real;
- Executa interativamente em tempo real;
- Alinha objetos reais e virtuais entre si;
- Pode aplicar-se a todos os sentidos, incluindo audição, tato e cheiro;

A captura da imagem do ambiente real é feita com a utilização de câmeras ligadas a um computador. Para que as imagens do mundo real e virtual possam ser registradas (fundidas na posição correta) é preciso que a posição e orientação da câmera sejam rastreadas constantemente (*tracking*). A maioria das aplicações de RA utiliza técnicas de Visão Computacional para realizar o rastreamento.

Desta forma, a RA pode ser classificada em 3 grupos principais segundo o tipo de display utilizado [Pereira, 2005].

Nos Sistemas de RA Óticos o utilizador visualiza o ambiente real diretamente (a olho nú), sendo apenas geradas as imagens virtuais que serão visualizadas através de um dispositivo (Óculos de Realidade Virtual) chamado *see-through* HMD (*Head Mounted Display*).

Este dispositivo compõe-se de óculos semitransparentes ou transparentes que além de exibir as imagens virtuais, permite que o utilizador veja também o mundo real. Ele é composto por duas partes: um gerador de cenas, que recebe os dados e faz os cálculos necessários, gerando imagens virtuais, e os monitores dos óculos que, por sua vez, reproduzem as imagens virtuais sobrepostas ao mundo real visto através das lentes do HMD, como visto na Figura 3.

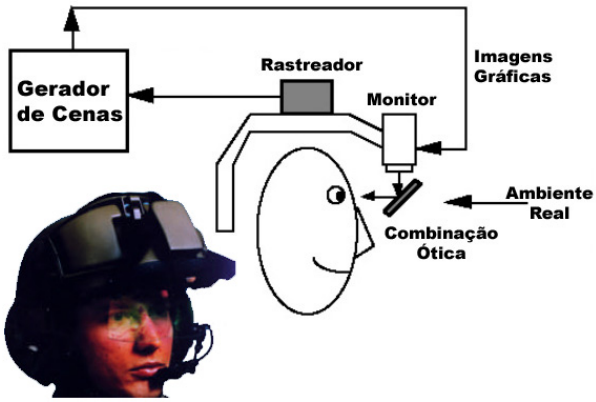


Figura 3: Modelagem do sistema de RA ótico. Fonte: [Azuma, 1997].

Uma limitação imposta por aplicações que utilizam estes dispositivos é o grau de luminosidade no cenário real. Em ambientes com muita iluminação, o grau de qualidade das imagens virtuais fica prejudicado, fazendo com que elas pareçam semitransparentes. Apesar dos problemas, há duas grandes vantagens na utilização destes sistemas; o menor tempo de processamento e a maior resolução das imagens reais.

Nos Sistemas de RA por Vídeo, o utilizador visualiza o mundo real através de uma ou duas câmeras. Nestes sistemas, a câmera passa a desempenhar a função dos olhos do utilizador. O mundo real é capturado por meio de uma câmara e retransmitido para um combinador de vídeo, que reúne as cenas virtuais vindas do gerador de cenas com as imagens do mundo real, combinando-as de forma que pareça um único ambiente [Pereira, 2005]. Por fim, esse resultado é enviado aos monitores que irão reproduzi-las, como mostrados na Figura 4.

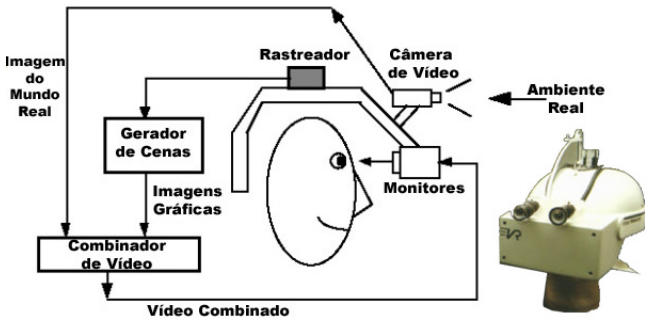


Figura 4: Modelagem do sistema de RA utilizando vídeo. Fonte: [Azuma, 1997].

Uma das características interessantes na RA por vídeo é a possibilidade de ampliar ou reduzir o cenário real, característica essa conhecida como zoom. Os problemas destes sistemas estão no grau de qualidade da imagem real dependendo da resolução da câmera que captura as imagens do mundo real.

Em Sistemas de RA por Monitores são utilizados monitores de vídeo como televisões para visualizar as cenas geradas. Um sistema baseado em monitores é semelhante aos sistemas de RA por vídeo, com a diferença de que ao contrário do combinador de cenas enviar o resultado da combinação das imagens (reais e virtuais) para um HMD, ele irá transmití-las para um monitor.

A principal vantagem destes tipos de dispositivos é que o utilizador não precisa vestir nenhum equipamento. Mas, o grande problema na utilização de monitores como televisão é o fato de terem que ficar parados num único local.

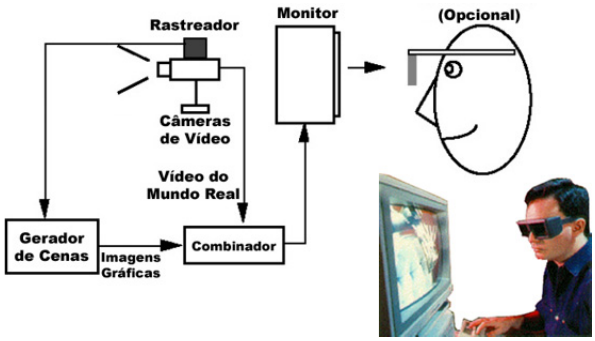


Figura 5: Modelagem do sistema de RA utilizando monitor. Fonte: [Azuma, 1997].

Existem diversos recursos para a implementação de aplicações com RA. Entre eles se destaca o software ARToolKit, por sua simplicidade de utilização e pelo fato de ser aberto, gratuito e multiplataforma, ou seja, poder ser utilizado em diversos sistemas operacionais, como o Linux.

2.4 Realidade Aumentada no Ensino

A idéia de introduzir computadores nas escolas surgiu no Brasil, a partir da década de 80, através das escolas alternativas, com a preocupação de buscar novas formas de aprendizagem [Nunes, 2002].

A partir disso, novas relações de interação homem-máquina foram surgindo, e a através de interfaces diretas e abertas que oferecem novas conexões, transformam o meio e favorecem a construção do conhecimento, sem instruções previamente elaboradas e definidas pelo educador, fizeram com os professores tivessem mais um papel de auxiliadores na descoberta e construção do conhecimento.

Desta forma, a idéia central é que o conhecimento não é transmitido. Cada indivíduo, a partir de suas sensações, emoções e do potencial criativo, constrói o seu próprio conhecimento através de novas experiências, o que pode ser favorecido com a tecnologia de (RA) aplicada ao ensino/aprendizagem, onde os fluxos de interação entre usuário e ambiente são construídos e modificados de forma direta, em tempo real [Kirner, 2005].

Outro fato também, é que estudos mostram que uma forma de estar melhorar a aprendizagem é por meio do uso de tarefas colaborativas, o que pode ser conseguido com o uso da RA. Os usuários relatam que acham a interface muito intuitiva e condizente para a

colaboração com o mundo real, porque o apoio de grupos de usuários pode ser principalmente partido de protocolos sociais [Billinghurst, 2002].

Segundo Inkpen (1997), em uma sala de aula, estudantes trabalham melhor juntos se eles estão focados em um espaço de trabalho comum. Ainda é difícil alcançar isto em ensinos baseados em computadores. Crianças que trabalham em computadores separados, até mesmo se eles forem lado a lado, não executam tão bem as tarefas se elas fossem colocadas juntas em uma única máquina.

Realmente, os investigadores acham que quando estudantes são colocados em computadores individuais, eles se agruparão espontaneamente ao redor das máquinas em pares e trios [Watson, 1991].

Quando os estudantes trabalham utilizando uma mesma interface, o espaço utilizado entre eles é usado para compartilhar sugestões de comunicação. Os colaboradores podem ver um ao outro e as sugestões de comunicação podem ser compartilhadas ao mesmo tempo da visualização e manipulação dos objetos sobre os quais eles estão discutindo. Isto resulta em comportamento sociável semelhante à colaboração natural rosto-a-rosto [Kiyokawa et al, 2002].

Em um ambiente de ensino, objetos físicos ou de apoio são comumente usados para conduzir a algum significado. Desta forma, objetos físicos auxiliam na colaboração, tanto por seus aspectos, as propriedades físicas que eles tem, o seu uso como representações semânticas, suas relações espaciais e suas habilidades para ajudar à focalizar a atenção [Billinghurst, 2002].

Em RA há uma relação íntima entre objetos virtuais e físicos. Os objetos físicos podem ser aumentados ou melhorados normalmente de modos possíveis, provendo informação dinâmica em um contexto de aspecto baseado em interações físicas, visuais e sensíveis.

Assim, aplicações de RA geralmente são baseadas no uso de objetos físicos para manipular informações virtuais de uma maneira intuitiva. Deste modo, pessoas sem muita noção computacional podem ainda sim ter uma rica experiência interativa. Por exemplo, em usuários de interface Espaciais Compartilhadas, objetos virtuais tridimensionais podem ser manipulados simplesmente através de cartões (marcadores), onde modelos virtuais aparecem fixos a eles, sem precisar da utilização de mouse ou teclado [Poupyrev et al, 2000]. Esta propriedade permite que até mesmo crianças muito jovens tenham uma experiência educacional rica.

A tecnologia de RA amadureceu ao ponto de poder ser aplicada a uma gama muito maior de domínios de aplicação, e a educação é uma área onde esta tecnologia pode ser especialmente valiosa. Para explorar como estas características possam ser melhor aplicadas em um ambiente escolar é necessário que pedagogos e investigadores trabalhem juntos neste campo.

2.5 Software ARToolKit

O ARToolKit é uma biblioteca gratuita criada pelo Dr. Hirokazu Kato, da Universidade de Osaka, e posteriormente desenvolvida pelo Laboratório de Tecnologias de Interface com Humanos, da Universidade de Washington (EUA) e da Universidade de Canterbury (Nova Zelândia), que permite aos programadores desenvolverem facilmente aplicações de RA [Kato, 1999].

Uma das maiores dificuldades no desenvolvimento de aplicações de RA é o acompanhamento do ponto de vista do usuário de maneira a manter a correta sobreposição das imagens reais e virtuais. Em outras palavras, o processamento das imagens depende do conhecimento de para onde o usuário está olhando a cada instante. O ARToolKit resolve esse problema utilizando bibliotecas que calculam o posicionamento correto por meio de marcadores físicos que são acompanhados em tempo real [Billinghurst, 2002].

O ARToolKit baseia-se na utilização de cartões com símbolos e molduras que permitem o rápido reconhecimento da posição e orientação da câmera, facilitando o cálculo, em tempo real da movimentação necessária para a sobreposição dos objetos virtuais.

Atualmente, existem várias versões do ARToolKit implementadas em várias linguagens, como por exemplo em Matlab e Java. Mas as versões mais utilizadas e atualizadas do software são as implementadas na linguagem de programação C. Algumas dessas versões possuem suporte a VRML[1], mas a maioria está disponível apenas para OpenGL[2].

A RA visão direta por vídeo é aquela cujas imagens virtuais são sobrepostas às imagens de vídeo ao em tempo real adquiridas do mundo real. A alternativa é a RA com

---

[1] *Virtual Reality Moldelling Language* - Linguagem de Modelagem de Realidade Virtual. Essa tecnologia será tratada mais adiante neste trabalho.

[2] *Open Graphics Library* - É uma biblioteca gráfica de modelagem e exibição tridimensional, bastante rápida e portável para vários sistemas operacionais.

visão direta ótica, na qual modelos de computação gráfica (objetos virtuais) são sobrepostos diretamente às imagens do mundo real.

Os requisitos básicos de hardware para o funcionamento do ARToolKit são uma câmera digital com saída USB, Sistemas Operacionais Windows(95/98/2000/XP) ou Linux, marcadores e um microcomputador 500 Mhz ou superior [kato, 1999]. A versão escolhida para este trabalho foi a do ARToolKit 2.65 com suporte a VRML implementada na linguagem C++.

A linguagem VRML teve sua definição final de versão em 1997. Sua característica principal está relacionada com o desenvolvimento de cenários mais realísticos, prototipação (capacidade de encapsular novos recursos de forma a criar novos nós, que são semelhantes às *tags* do HTML - *HiperText Markup Language*), interação direta com o usuário através de sensores, interpoladores e criação de animações usando scripts [Cardoso et al, 2004].

É uma linguagem interpretada e não compilada e independente de plataforma. Logo, tanto ambientes virtuais em forma de objetos tridimensionais quanto nas formas textuais poderiam ser utilizados para incremento de informações em uma cena de um ambiente real. Este foi um dos fatores pela escolha da versão do software ARToolKit com suporte a VRML.

Um código VRML pode ser escrito apenas utilizando um editor de texto comum, uma vez editados, os arquivos são gravados em formato ASCII com a extensão wrl.

Quanto a linguagem C++, além de ser orientada a objetos ela possui alta flexibilidade no manuseio de memória, bem como por sua performance em ambientes de 32 bits. Outra vantagem também na utilização da versão em C++ é no que diz respeito a portabilidade de código, pois diversas plataformas computacionais, possuem seus compiladores. Há versões para o Windows, Linux, SGI (*Silicon Graphics Incorporated*) e até para o MacOS X.

Para um melhor entendimento do ARToolKit, a seguir será ilustrado alguns detalhes sobre como este software funciona.

Primeiro, a imagem de vídeo capturada é transformada em uma imagem binária (em Preto e Branco) baseada no valor do limiar de intensidade. Posteriormente, busca-se nesta imagem por regiões quadradas. O ARToolKit encontra todos os quadrados na imagem binária, muitos dos quais não correspondem a marcadores de referência. Para cada quadrado, o desenho padrão dentro dele é capturado e comparado com alguns gabaritos pré-treinados. Se houver alguma similaridade então o ARToolKit considera que encontrou um dos marcadores de referência (Figura 6).

(a) (b) (c)

Figura 6: Análise da Imagem. Fonte: [Billnghrst, 2002].

O ARToolKit usa então o tamanho conhecido do quadrado e a orientação do padrão encontrado para calcular a posição real da câmera em relação a posição real do marcador. Uma matriz 3x4 conterá as coordenadas reais da câmera em relação ao marcador. Esta matriz é usada para calcular a posição das coordenadas da câmera virtual. Se as coordenadas virtuais e reais da câmera forem às mesmas, o modelo de computação gráfica pode ser desenhado precisamente sobre o marcador real Figura 6 (c).

O ARToolKit usa técnicas de visão computacional para calcular o ponto de vista real da câmera em relação a um marcador no mundo real. Porém há vários passos, que ilustram detalhadamente como é realizado o processamento de imagens usado pelo ARToolKit, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7: Processamento do ARToolKit Fonte: [kato, 1999].

De acordo com Consularo (2004), o desenvolvimento de aplicações utilizando o ARToolKit requer duas etapas:

- Escrever a aplicação;
- Treinar as rotinas de processamento de imagens sobre os marcadores do mundo real que serão usadas na aplicação;

Para escrever aplicações com o ARToolKit, deve-se seguir os seguintes passos:

Passo 1:

- Inicializar o caminho dos parâmetros de vídeo;
- Ler os arquivos de padrões de marcadores;
- Ler os parâmetros de câmera;

Passo 2:

- Capturar um quadro de entrada de vídeo;

Passo 3:

- Detectar os marcadores e reconhecer os padrões no quadro capturado da entrada de vídeo;

Passo 4:

- Calcular a transformação da câmera em relação aos padrões detectados;

Passo 5:

- Desenhar os objetos virtuais nos padrões detectados;

Passo 6:

- Fechar a entrada de vídeo;

Os passos 2 até 5, fazem parte do *loop* e são repetidos continuamente até que a aplicação termine, os passos 1 e 6 por sua vez são executados somente na inicialização e finalização da aplicação, respectivamente [Consularo et al, 2004].

Para uma melhor visualização e captura dos marcadores, é necessário realizar a calibração da câmera. Isto é feito através de um programa chamado calib_camera.exe que se encontra dentro do diretório /bin do ARToolKit.

Este contém os parâmetros padrões para várias câmeras. Os marcadores podem ser feitos aleatóriamente e posteriormente cadastrados através do mk_patt.exe que também se encontra dentro do diretório /bin, assim cada marcador pode ser associado a um arquivo VRML.

2.6 Considerações Finais

Como o ARToolKit é um software aberto a realização de modificações em seu código possibilitou a criação de um sistema que fornecesse informações dinâmicas em relação a mudança do cenário do ambiente real. Apesar de ser interessante, simples e importante para o desenvolvimento de aplicações interativas, o software antes de tudo precisa ser instalado e configurado e as aplicações precisam ser desenvolvidas, o que prejudica as vantagens do sistema ser intuitivo e de fácil manipulação pelo público leigo em computadores.

A linguagem VRML é adequada na geração de informações virtuais para a integração com o software ARToolKit, pois é de fácil entendimento e para visualização de informações textuais gera arquivos extremamente pequenos. No próximo capítulo, são apresentados alguns trabalhos relacionados ao uso de RA aplicados no ensino/aprendizagem.

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

3.1 Introdução

Este capítulo apresenta alguns sistemas computacionais de RA voltados à área de ensino e possui o objetivo de avaliar suas potencialidades, destacar suas vantagens, limitações e ressaltar os tipos de interações propostas por esses sistemas.

3.2 Sistema Contador de Estórias - *Story Telling System*

O *Story Telling System* (Sistema Contador de Estórias) é um sistema temporal, pois estabelece uma seqüência de cenas durante certo "tempo" de apresentação, em função de um áudio associado com cada cena e objetos virtuais [Benam, 2005].

O intuito deste sistema é fazer com que o usuário interaja com as cenas reais e virtuais não somente pelo sentido visual, mas também pelo sentido auditivo. Para isso, ele usa um conjuntos de bibliotecas ARToolKit para integrar objetos virtuais e áudio.

Para mostrar sua funcionalidade, ele constitui de uma aplicação intitulada "imaginaCão" que compõe em capítulos que são contados através das imagens/objetos e cenas virtuais, seguidos de uma narração, constituída de trilha e voz, associada a cada cena.

A Figura 8 ilustra o sistema *Story Telling System* sendo executado.

A grande diferença neste sistema é que ele possui uma placa de controle, que consiste na identificação de um marcador pré-estabelecido chamado de marcador de controle. Quando este marcador é sobreposto a uma cena, ele faz com que uma cena mude para outra, ou seja, realiza a troca do objeto virtual e subseqüentemente até o término da estória.

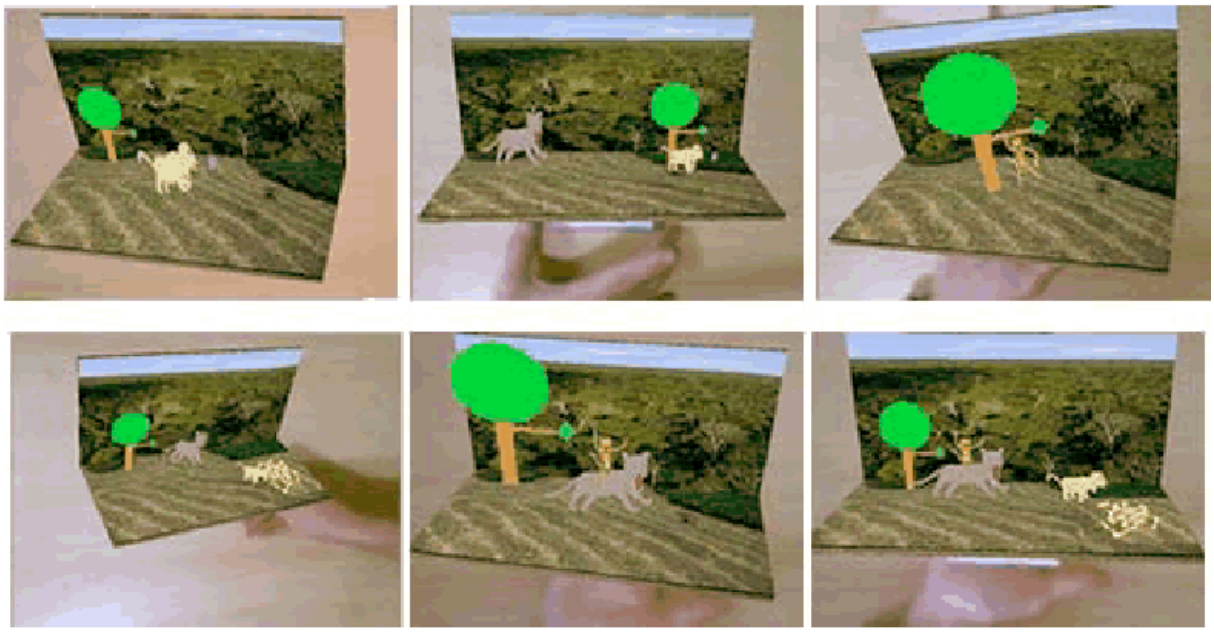


Figura 8: *Story Telling System*. Fonte: [Benam, 2005].

A desvantagem neste caso é a necessidade da interferência humana para a realização de troca de cenários, pois as informações sobre um marcador são dinâmicas, ou seja, elas sofrem mudanças, mas existe a necessidade de uma placa de controle para a variação da informação.

Outra característica deste sistema é que suas estórias são narradas, ou seja, para cada cena, uma trilha sonora diferente é associada. Desta forma quando a placa de controle é inserida no ambiente ela faz com que a próxima trilha sonora seja executada.

A Tabela 1 exibe as características encontradas neste sistema.

Tabela 1 – Características do *Story Telling System*.

Vantagens	**Desvantagens**
- Utilização de Marcadores Dinâmicos; - Utilização de trilha sonora para dar mais envolvimento com o ambiente;	- Utilização de um marcador especial como forma de Placa de Controle para alteração de ambientes virtuais; - Ambientes virtuais não sofrem variação automática com o decorrer do tempo;

3.3 Realidade Aumentada no Ensino Musical

A proposta deste sistema é associar RA ao aprendizado musical, que pode ser usado por aprendizes de diversas faixas etárias.

O sistema se caracteriza por acrescentar símbolos conhecidos sob a forma de objetos virtuais tridimensionais, auxiliando o usuário visualmente na compreensão dos conceitos musicais. Ele demonstra duas formas de aprendizado, cada um enfocando áreas distintas da música.

A primeira forma de aprendizado utiliza oclusão[3] de marcadores para executar sons predefinidos, conforme pode ser visto na Figura 9.

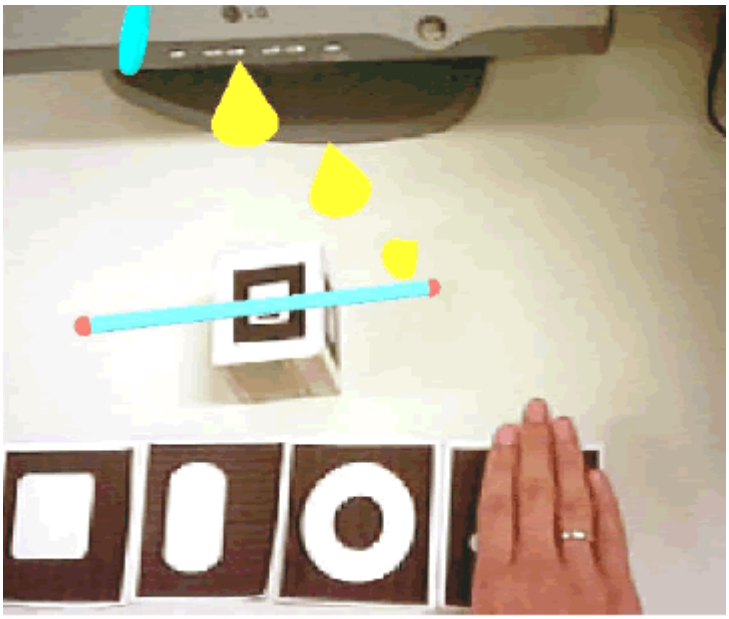


Figura 9: Aprendizado Musical. Fonte: [Zorzal et al., 2005].

Quando o usuário coloca a mão sobre um dos marcadores previamente posicionados no ambiente, o sistema nota a ausência daquele marcador e executa uma ação, que neste caso é tocar a nota musical correspondente. Desta forma, a própria mão do usuário se torna uma placa de controle, assim como visto no *Story Telling System*.

[3] Oclusão - ato de ocultar (mascarar) porções dos objetos reais ou virtuais na cena 3D tornando sua coexistência o mais real possível [Motta, 2002].

A execução deste sistema é guiada pela apresentação de símbolos ao usuário que deverá fazer a oclusão do marcador apropriado, quando o símbolo mostrado atingir certo ponto fixo do cenário.

Desta maneira, quando um símbolo é reconhecido, o sistema mostra sua identificação visual e executa (emite) o som correspondente, facilitando com isso o aprendizado de leitura e escrita desta notação.

A segunda forma (Figura 10) enfoca o aprendizado de leitura musical, baseado em uma notação de pentagrama em branco e um marcador impresso em transparência que é reconhecido diferentemente, de acordo com o posicionamento do marcador na notação em branco.

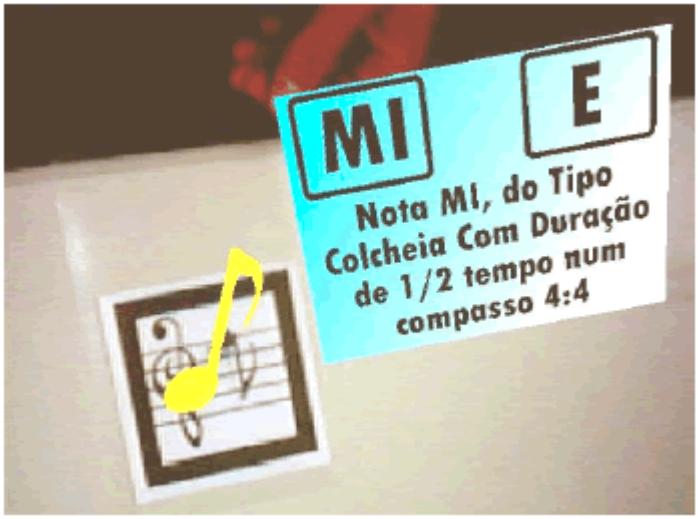


Figura 10: Notas Musicais com Pentagrama. Fonte: [Zorzal et al., 2005].

Desta forma são passadas informações sobre as notas musicais, auxiliando no processo de aprendizado, podendo assim, ser considerado como uma ferramenta pedagógica.

Ainda sim, como forma de implementação as informações contidas em cada marcador são fixas, não havendo dinamismo sobre estes, ou seja, elas não sofrem mudanças ao decorrer do tempo.

A Tabela 2 exibe as características encontradas neste sistema.

Tabela 2 – Características do Sistema RA no Ensino Musical.

Vantagens	**Desvantagens**
- Utilização de trilha sonora para dar mais envolvimento com o ambiente;	- Ambientes virtuais são estáticos e não sofrem variação com o decorrer do tempo;

- Utilização de Pentagramas para exposição de conceitos sobre as informações contidas nos marcadores.	

3.4 Livro de Sólidos Geométricos

O Livro de Sólidos Geométricos foi desenvolvido através do uso de RA com a finalidade de auxiliar alunos no aprendizado matemático [Akagui, 2004]. Podendo desta forma ser utilizado por escolas do Ensino Médio.

Ao colocar o livro em frente a câmera e posicioná-lo de maneira que o marcador e a placa de controle fiquem visíveis no campo de captura da câmera, aparecerá o objeto virtual associado ao marcador. Quando a placa de controle é colocada no local especificado, imediatamente o objeto virtual do marcador mudará. O marcador pode disparar três vezes a mudança do objeto. O primeiro objeto é aramado, o segundo é sólido e o terceiro é sólido e tem movimentos de rotação (Figura 11).

Figura 11: Livro de Sólidos Geométricos: Visualização de Poliedros. Fonte: [Akagui, 2004].

Da mesma forma que o *Story Telling System*, este faz uso da placa de controle para controlar a mudança dos objetos virtuais.

A Tabela 3 exibe as características encontradas neste sistema.

Tabela 3 – Características do Sistema Livro de Sólidos Geométricos.

Vantagens	**Desvantagens**
- Marcadores são dinâmicos, ou seja,	- Utilização de um marcador especial como

informações sobre um determinado marcador podem sem alteradas através da placa de controle.	forma de Placa de Controle para ; - Ambientes virtuais não sofrem variação com o decorrer do tempo;

3.5 O Sistema EIC-RA

O sistema EIC-RA [Nunes, 2005] é tipicamente um jogo quebra-cabeça comum, que após a escolha de um tema e da imagem a ser utilizada no jogo, a imagem é subdividida e cada parte é texturizada sobre o modelo geométrico (cubo) em VRML, que é associado a um determinado marcador.

O objetivo desse sistema é estimular o raciocínio lógico-matemático e a inteligência espacial do usuário, aliado ao entretenimento, pois através da RA é possível estabelecer uma condição de interação que favoreça a motivação do usuário, a atenção e, principalmente, a retenção de informações, pois os mesmos podem estabelecer uma relação com os objetos disponíveis no ambiente virtual muito semelhante às situações reais.

A Figura 12 mostra o funcionamento deste sistema.

Figura 12: EIC: Quebra Cabeça. Fonte: [Nunes, 2005].

Neste caso, as informações contidas em cada marcador são fixas, não havendo nenhum dinamismo na aplicação.

A Tabela 4 exibe as características encontradas neste sistema.

Tabela 4 – Características do Sistema EIC-RA.

Vantagens	**Desvantagens**
- Aumento da percepção do usuário;	- Marcadores não são dinâmicos;

	- Ambientes virtuais não se alteram.

3.6 O Livro Mágico - *Magicbook*

Desenvolvido primeiramente pela equipe de Mark Billinghurst e Hiro Kato, no ano de 2000, o MagicBook a primeira vista parece ser um livro comum, mas quando o leitor coloca o capacete de Realidade Virtual, as imagens do mundo real em cima do livro se aumentam, através da exibição de modelos virtuais tridimensionais que aparecem fora das páginas [Billinghurst, 2002].

Os modelos virtuais parecem estar fixos à página, com isso os usuários podem ver a cena de RA simplesmente de qualquer perspectiva movendo a si mesmo ou o livro.

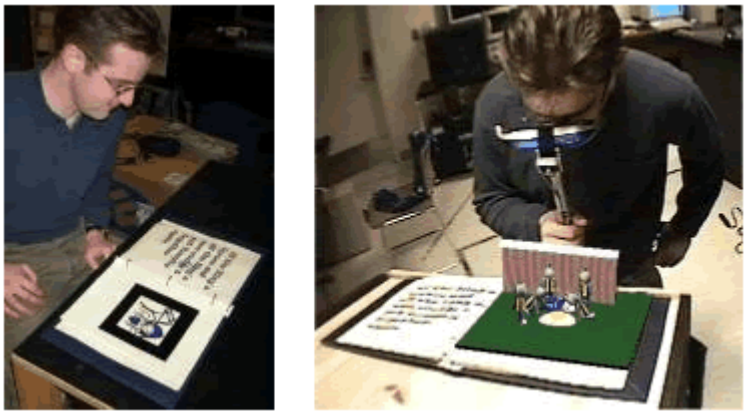


Figura 13: MagicBook. Fonte: [Billinghurst, 2002].

Esta aplicação permite que vários usuários possam interagir ao mesmo tempo, cada um com a visualização de sua própria perspectiva. Assim sendo, o MagicBook pode abordar assuntos diversos sobre diferentes áreas do conhecimento.

A forma de interação mais utilizada entre os usuários e o MagicBook é através da paginação das folhas do livro. Os modelos virtuais só serão alterados no momento em que o usuário virar uma página. Desta forma o sistema não faz uso de uma placa de controle para realização da mudança de cenários.

A Tabela 5 exibe as características encontradas neste sistema.

Tabela 5 – Características do Sistema MagicBook.

Vantagens	Desvantagens
- Simplicidade na aplicação; - Não necessita de placa de controle;	- Marcadores não são dinâmicos; - Ambientes virtuais não sofrem interferência de ações externas, como tempo por exemplo;

3.7 Sistema Digital para Análise de Movimentos - SAM

O software SAM, apesar de não ter sido desenvolvido utilizando técnicas de RA, foi aqui também estudado, pois é o único entre os outros anteriores que faz análise quantitativa de movimento [Minatel, 2002].

O Software SAM, foi desenvolvido na Universidade de São Paulo e basicamente utiliza uma câmera de vídeo para registro dos movimentos do cotidiano ou dos obtidos em laboratórios. Após realizar a captura da imagem para o computador, faz-se utilização do referido software para realizar a análise quantitativa destes movimentos. Este parecer envolve basicamente os conceitos de Mecânica Gráfica que ilustra o software SAM sendo executado para análise de um experimento da Física denominado "Trilho de Ar". Como pode ser visto na Figura 14.

O software SAM pode ser indicado como uma ferramenta cognitiva do computador para o aluno, criando um ambiente de aprendizagem colaborativo, motivador, auxiliando na construção de conhecimentos tais como conceitos de velocidade, velocidade angular, aceleração, ondas, e outros.

O objetivo desse sistema computacional é fornecer ao professor as ferramentas necessárias para o ensino da Física por meio de experimentos práticos. O SAM possibilita que sejam observados, com o auxílio de técnicas do Processamento Digital de Imagens, muitos fenômenos físicos como a propagação de ondas, reflexão, refração, velocidade depropagação de ondas, velocidade de objetos em movimentos, constatação de movimentos retilíneos ou curvos, constantes ou acelerados, entre muitas outras aplicações [Minatel, 2002].

Figura 14: Software SAM Fonte: [Minatel, 2002].

A desvantagem deste sistema é que ele não realiza a medição quantitativa dos movimentos em tempo real, sendo preciso primeiramente realizar a gravação de um filme e posteriormente importar o mesmo para que o software realize a análise em cima da seqüência de quadros deste filme.

3.8 Considerações Finais

O homem descobre no uso da tecnologia como ferramenta de apoio para seus negócios, entretenimento e aprendizagem. A assimilação destes recursos e o convívio diário, trouxe para os conceitos de aprendizagem e cultura, uma gama de oportunidades. Nos casos da RA e RV, possibilitaram as pessoas participarem, serem e viverem situações que por outros meios seriam impossíveis, tornando capaz o conhecimento na forma ideal.

Em prospecção a tais situações, as tecnologias também tiveram suas estruturas modificadas e melhoradas, adaptando-se aos novos cenários e usuários, que a cada dia deixaram de ser somente especialistas e passaram a ser pessoas, indivíduos tidos como comuns, normais, das mais diversas faixas etárias e culturais imagináveis.

O que percebe-se nos sistemas mencionados é que cada um deles apresenta características peculiares quanto a questão de interação com o usuário. Entretanto, a maioria dispõe de informações fixas referentes aos seus respectivos marcadores e alguns oferecem

dinamismo sobre estes, que permitem a troca de informações através de uma placa de controle.

O software SAM, foi desenvolvido especificamente para propósito educacional. Apesar dele não fazer uso das técnicas de RA, ele foi analisado pelo fato de permitir a realização da análise quantitativa de movimentos, que será o foco do estudo de caso desta dissertação.

Desta forma, verifica-se a necessidade de se criar uma arquitetura utilizando técnicas de RA que possibilitem o desenvolvimento de um sistema que realize a atualização automática dos ambientes virtuais de forma a possibilitar a análise de informações em tempo real.

Capítulo 4

Concepção do Sistema

4.1 Introdução

Após a análise de algumas tecnologias disponíveis para desenvolvimento de aplicações de RA e de algumas dessas aplicações já criadas por outros pesquisadores, foi possível idealizar uma arquitetura para um sistema que por meio de técnicas de RA, realize a coleta de dados via marcadores, mapeando dados relativos a variáveis de saída auxiliando o entendimento de movimentos de objetos.

4.2 Arquitetura

Para a realização de captura e análise do movimento é proposta uma arquitetura que permita o usuário através de uma interface realizar a entrada dos dados relacionados ao experimento, e posteriormente através da captura e análise da imagem do ambiente real, gerar informações virtuais sobre este.

A arquitetura proposta é formada pelos seguintes módulos:

- Módulo ARToolKit;
- Módulo de Parametrização;
- Módulo Gerador de Objetos Virtuais;
- Módulo Atualizador de Objetos Virtuais;

A Figura 15 ilustra a representação da visão geral da comunicação entre as partes que compõem o sistema.

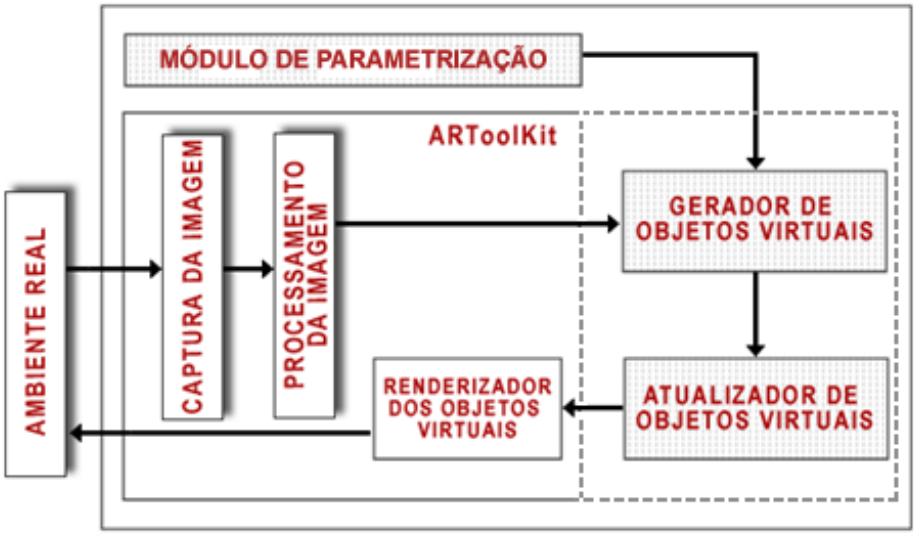


Figura 15: Arquitetura do Sistema.

4.3 Módulo ARToolKit

O Módulo ARToolKit utilizado para a realização da captura de imagens do ambiente real e identificação de marcadores para exibição de informações por meio de objetos virtuais.

A Figura 16 ilustra o diagrama de módulos referente ao sistema, onde os módulos em destaque são os que sofreram alterações ou foram criados:

A função **main** é responsável pela chamada de uma outra rotina de inicialização que contém o código para definição do caminho dos parâmetros do dispositivo de vídeo, da leitura dos parâmetros dos marcadores e da câmera e configura a janela gráfica. Nesta função, inclui-se também a passagens de parâmetros relacionados ao experimento a ser realizado.

Já a função **mainLoop** é caracterizada por um laço que invoca várias outras funções. Dentro dela estão contidas as principais chamadas de rotinas de captura de vídeo, detecção de marcadores e desenho de objetos virtuais. É nesta função onde são chamados os módulos implementados para o processamento de cálculos do experimento, geração de objetos virtuais e atualização dos objetos virtuais.

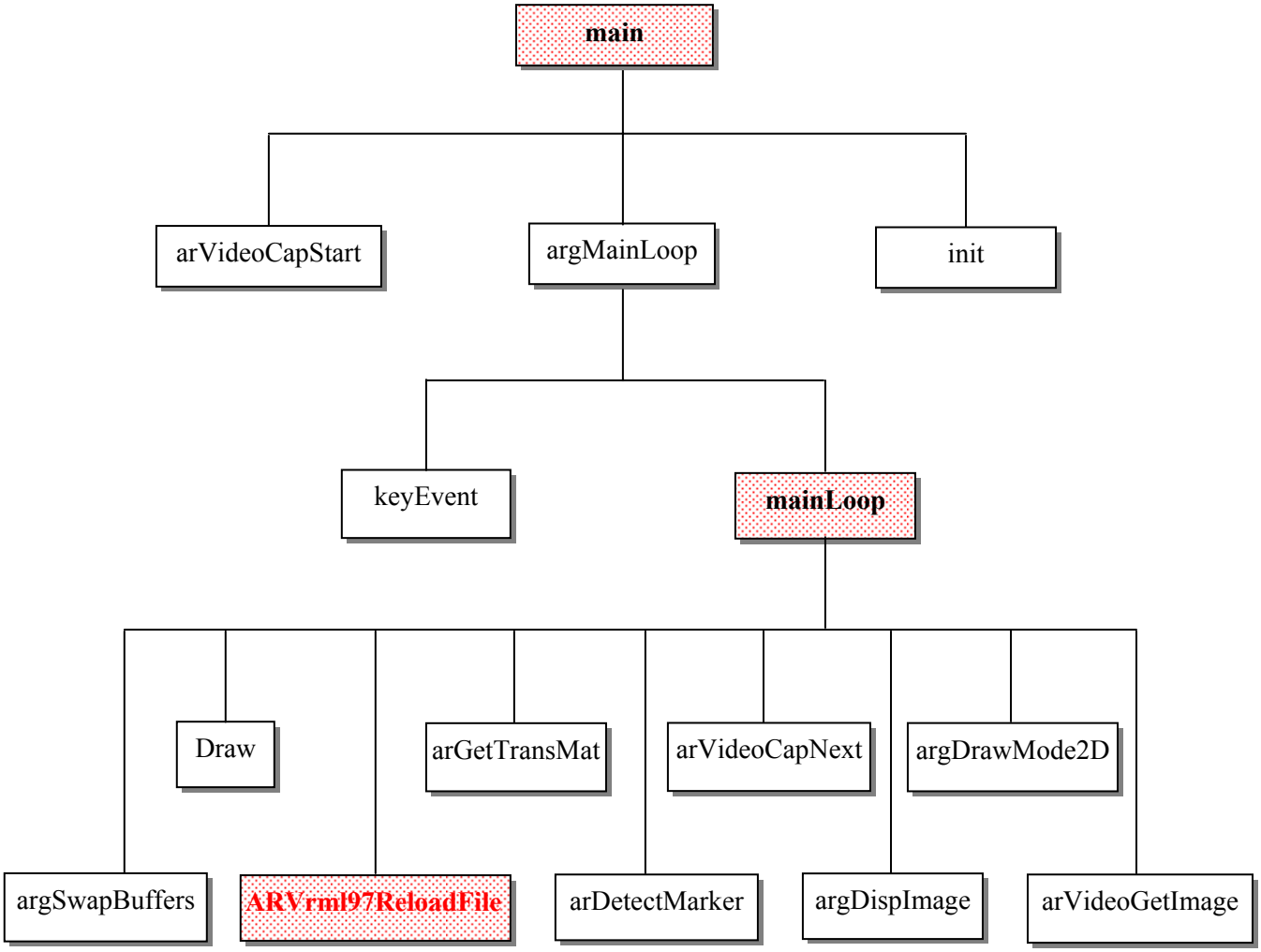


Figura 16: Diagrama de Módulos.

Para a realização da atualização dos objetos virtuais em tempo de execução, a rotina **ARVrml97ReloadFile** foi criada.

Com base na arquitetura proposta e nos estudos realizados, foi elaborado o diagrama de fluxo de dados mostrado na Figura 17 para o sistema.

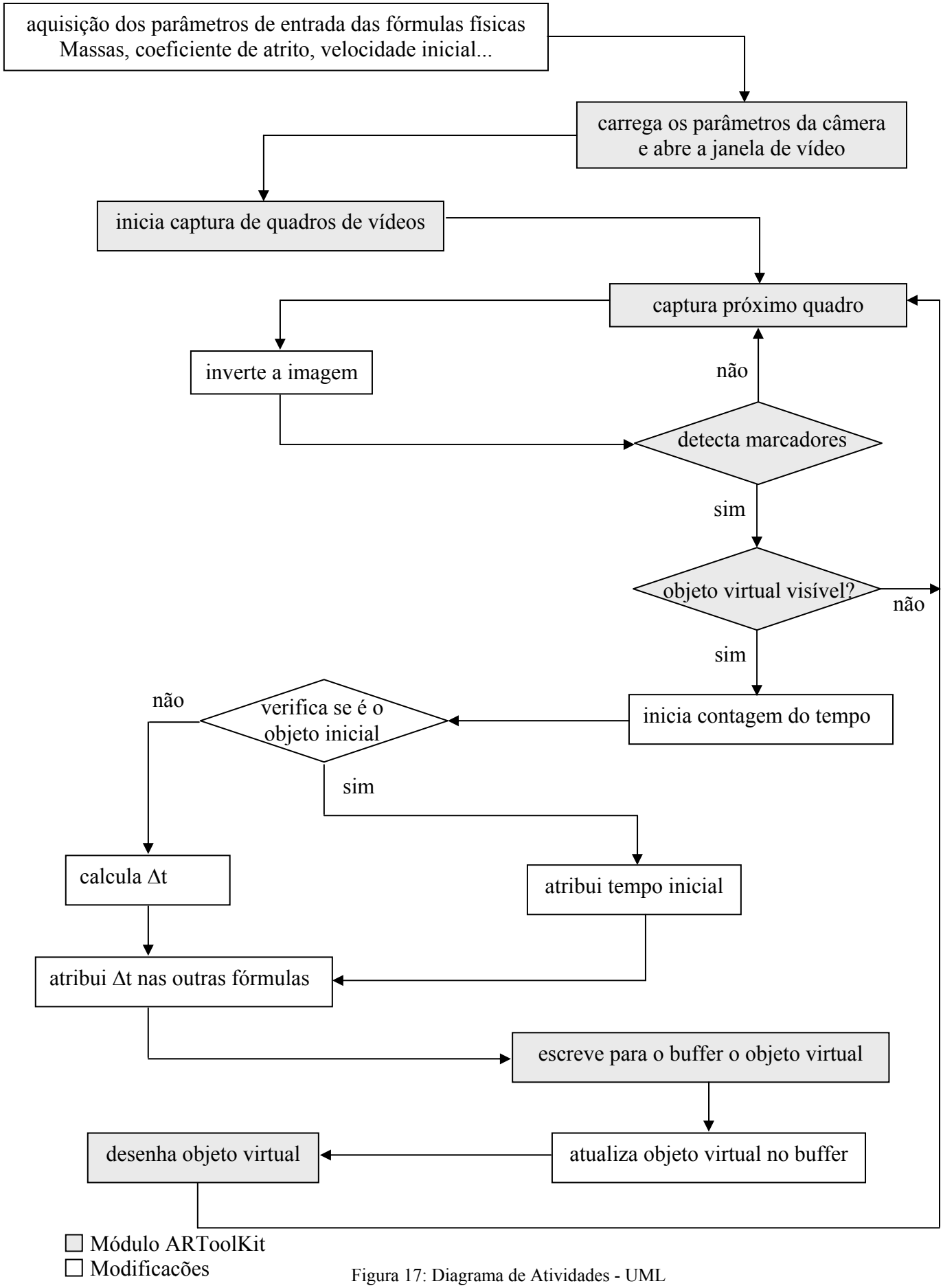


Figura 17: Diagrama de Atividades - UML

4.4 Módulo de Parametrização

O Módulo de Parametrização serve para a passagem de parâmetros de vídeo, onde foi acrescentada uma rotina para que o usuário possa selecionar o tipo de movimento a ser medido e realizar a entrada dos dados iniciais de um experimento, como por exemplo, velocidade inicial, massas, coeficiente de atrito (Figura 18).

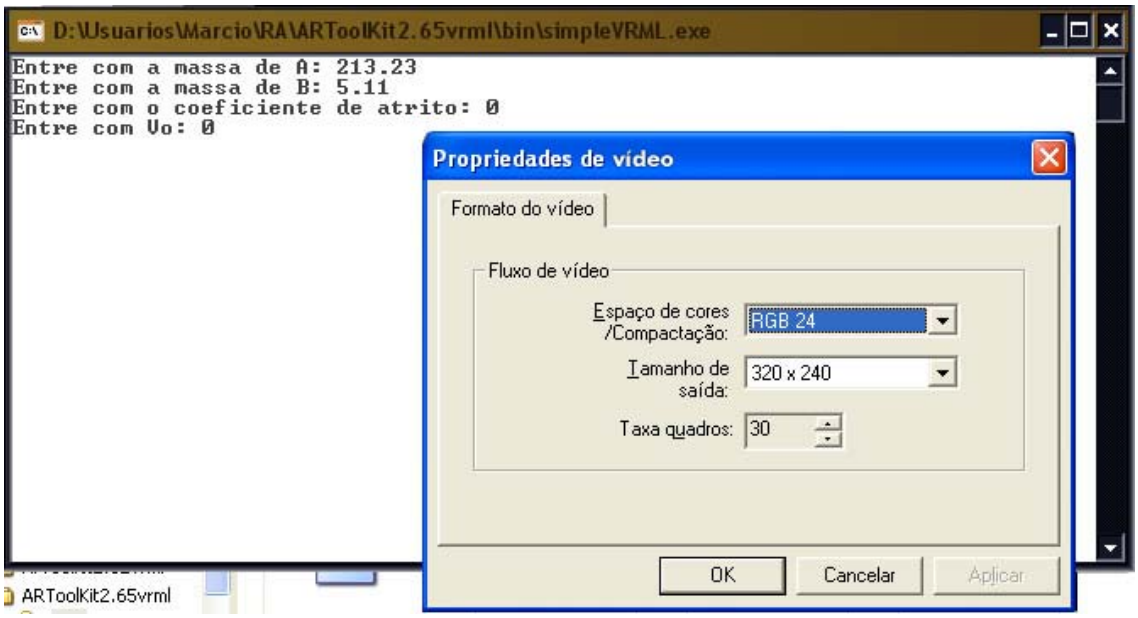


Figura 18: Módulo de Parametrização

4.5 Gerador de Objetos Virtuais

Após a passagem dos parâmetros de vídeo e dos parâmetros do experimento a ser realizado, passa-se para a parte de análise da imagem capturada pela câmera, verificando se há a existência de um marcador nesta imagem.

Caso um marcador seja identificado, é iniciado o processamento dos dados do experimento obtidos através do módulo parametrização, para a geração de informações sobre o experimento em questão.

Depois deste processamento um novo objeto virtual é gerado dentro da pasta bin/wrl para futura exibição do mesmo.

4.6 Atualizador de Objetos Virtuais

A geração e inserção do novo objeto virtual dentro da pasta bin/wrl do ARToolKit, não permite a atualização do mesmo, pois o software na sua versão original carrega estes objetos no *buffer* somente uma única vez, quando ele é inicializado.

Para isto, uma nova rotina chamada ARVrml97ReloadFile como já mencionado anteriormente na Figura 16, foi implementada para que a atualização destes objetos fosse realizada em tempo de execução. Assim, sempre que um marcador é identificado, primeiro o objeto virtual relacionado a este é modificado e depois atualizado para posteriormente realizar sua renderização, como pode ser visto através do esquema da Figura 19.

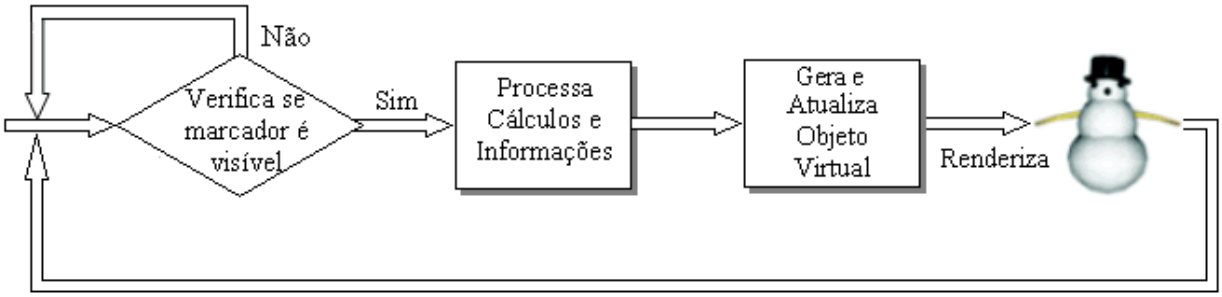


Figura 19: Atualização de Objetos Virtuais

4.7 Considerações Finais

A arquitetura aqui proposta foi construída com base em estudos de técnicas e ferramentas apresentados nos Capítulos 2 e 3 desse trabalho.

No próximo capítulo, são apresentados os detalhes da implementação da arquitetura do SMMAR (Sistema de Medição de Movimentos por RA).

Capítulo 5

Implementação

5.1 Introdução

Este Capítulo apresenta algumas características da implementação do sistema proposto neste trabalho e aborda os aspectos utilizados na construção dos módulos de geração e atualização de objetos virtuais além da parte de captura dos tempos de aparição de cada marcador.

Também neste capítulo é apresentado o estudo de caso adotado que mostra o processo de análise de movimentos em um trilho de ar baseado na Segunda Lei de Newton e ainda a forma de implementações de marcadores utilizada para este experimento.

5.2 Alterações no Artoolkit

A ferramenta ARToolkit facilita a compreensão das Interfaces com RA, mas necessita de ajustes, de acordo com cada aplicação.

Como foi utilizado a versão 2.65 do ARToolKit e esta possui a imagem da câmera invertida, foi preciso realizar a sua inversão, realizado através da seguinte mudança no código do arquivo SimpleVRML.cpp como mostrado na Figura 20.

```
for (j=0; j<(ysize/2); j++)          // leitura da matriz, ysize = tamanho da imagem no eixo y
  for (i=0; i<4*xsize; i++)          // xsize = tamanho da imagem no eixo x
    {
     x = dataPtr[i + j*4*xsize];     // deslocamento da imagem
     dataPtr[i + j*4*xsize] = dataPtr[i+4*(ysize-j-1)*xsize];   //alocação dos pixels em novas posições
     dataPtr[i+4*(ysize-j-1)*xsize] = x;
    }
```

Figura 20: Código para Inversão da Imagem da Câmera.

A Figura 21 ilustra o resultado da inversão da imagem realizada com a utilização do código mostrado na Figura 20.

Figura 21: Inversão da Imagem da Câmera.

A versão original do software não faz atualização automática dos ambientes virtuais, está só é realizada após o fechamento e a inicialização do software.

Como a aplicação a ser desenvolvida ocorre em tempo real e os dados a serem exibidos também devem ser adquiridos em tempo real, foi necessária a inserção de uma nova rotina que fizesse a atualização do ambiente virtual automaticamente.

Com as alterações realizadas, foi possível identificar o momento de exibição de um objeto virtual relacionado ao seu respectivo marcador e, através do *clock* do sistema, pôde-se atribuir e realizar a comparação dos tempos destes marcadores obtendo-se o Δt, que pode ser utilizado em qualquer fórmula física que faça uso dessa grandeza. Desta forma experimentos que se baseiam em princípios mecânicos como movimentos uniformes, uniformemente variáveis, circular uniforme, pêndulos, queda livre e molas, podem ser analisados através de visualização gráfica de cenas que exibirão informações como aceleração e velocidade em tempo de execução.

A seguir é ilustrado como o uso da RA com a utilização de marcadores poderia ser empregada em alguns destes movimentos.

A Figura 22 ilustra um movimento do tipo Retilíneo Uniforme, onde neste tipo de movimento a velocidade permanece constante, pois não existe aceleração.

□ - Local por onde o objeto passou ou irá passar;

■ - Local onde o objeto se encontra.

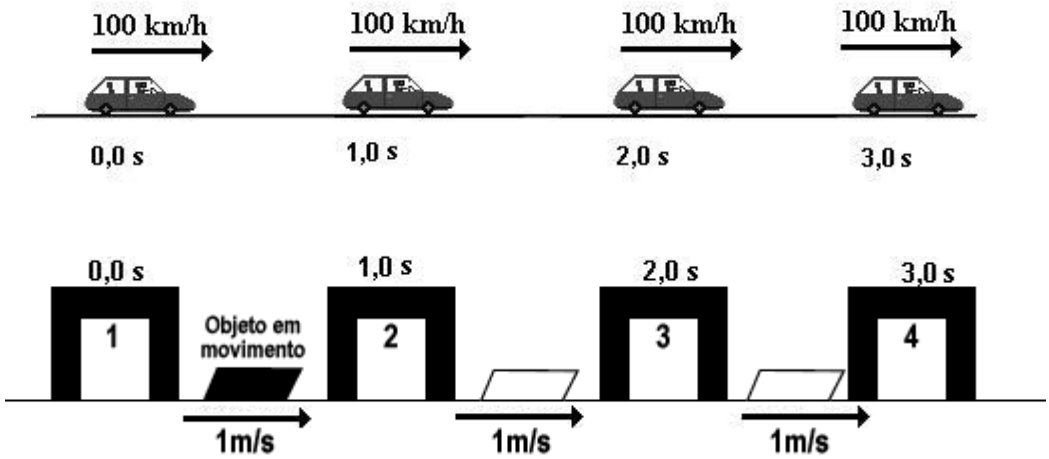


Figura 22: Movimento Retilíneo Uniforme

Já na Figura 23 é ilustrado um movimento do tipo Retilíneo Uniformemente Variável, onde neste tipo de movimento a velocidade varia em relação ao tempo, pois existe aceleração.

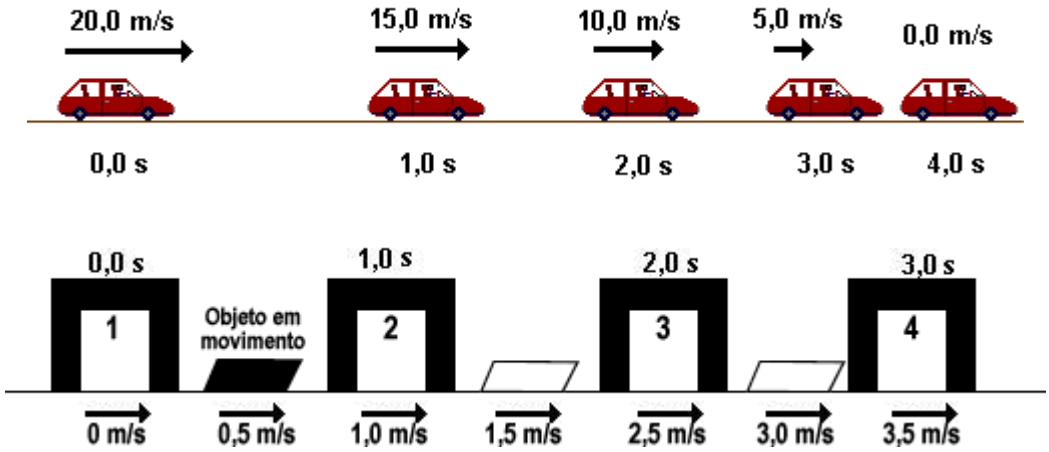


Figura 23: Movimento Retilíneo Uniformemente Variável

A Figura 24 ilustra o movimento de Queda Livre, onde neste caso existe aceleração da gravidade que é constante, tratando-se portanto de um Movimento Retilíneo Uniformemente Variável.

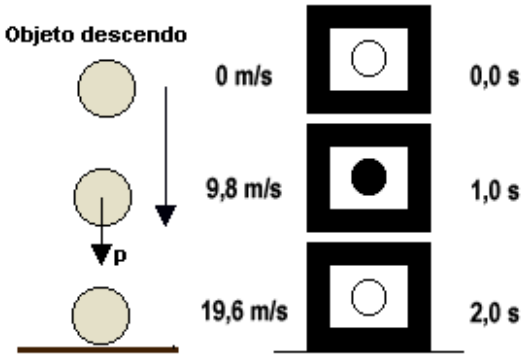


Figura 24: Movimento de Queda Livre

Já na Figura 25, trata-se de um Movimento Circular, onde a trajetória é uma circunferência, podendo haver aceleração e a velocidade neste caso é angular.

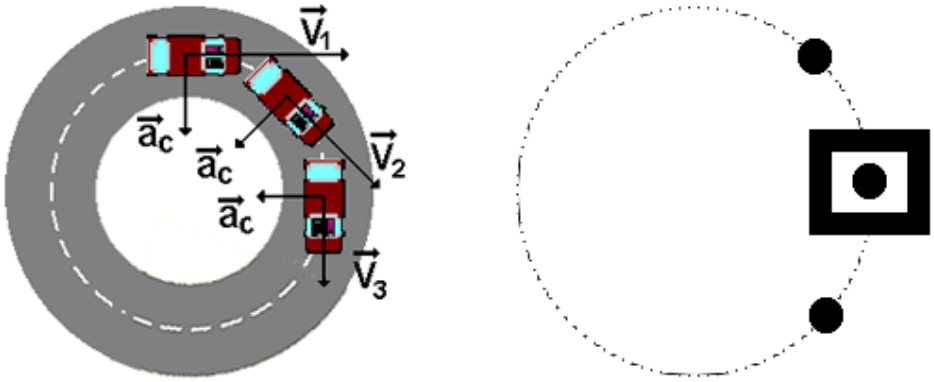


Figura 25: Movimento Circular

A Figura 26 mostra um movimento de Pêndulo Simples que constitui de uma partícula presa a extremidade de um fio inextensível e sem peso, capaz de se mover em torno de um eixo situado em sua extremidade.

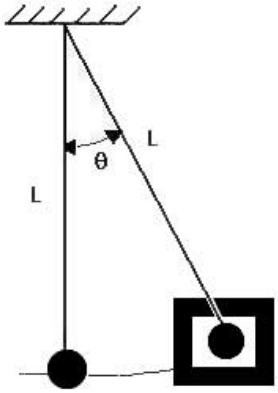


Figura 26: Movimento Pêndulo Simples

Como pode ser visto, são vários os tipos de movimentos que podem estar sendo analisados e associados com RA.

Pode-se perceber que nos movimentos retilíneos como mostrado nas Figuras 22, 23 e 24, a medição dos movimentos pode ser realizada através da utilização de vários marcadores posicionados em espaços diferentes ao longo da trajetória. Estes marcadores não necessariamente precisam ser diferentes, pode-se utilizar o mesmo marcador em todas as posições, já que se pode realizar a atualização da informação que este marcador deve exibir. Desta forma, pode-se obter informações sobre o movimento em diferentes momentos do seu acontecimento.

Já nos Movimentos Circulares é necessário determinar o período de tempo gasto pelo objeto para dar uma volta completa. Desta forma, deve-se ter marcadores diferentes para identificar cada período ou então apenas um, como foi exemplificado na Figura 25.

Os Movimentos de Pêndulo Simples são parecidos com os Movimentos Circulares na sua forma de capitação de tempo, pois os dois tipos de movimentos trabalham com períodos de intervalos de tempos em que um objeto passa por uma determinada posição.

5.3 Geração dos Ambientes Virtuais

Os objetos virtuais, que foram usados para aumentar a realidade, foram implementados através da VRML, necessária somente para realizar a exibição dos valores conseguidos através das análises obtidas sobre as imagens da câmera.

O código apresentado na Figura 27 mostra um exemplo de código VRML na exibição de um texto e a Figura 28 o resultado deste código exibido em um *browser* de navegação web.

```
#VRML V2.0 utf8
Transform { scale 5.6 8 8
        children [
          Shape { appearance DEF Cor_Strings Appearance
               { material Material { diffuseColor 1 0 0 }
               } geometry Text { string " V = 1.92 m/s"
          fontStyle FontStyle { style "bold" } } } ] }
```

Figura 27: Código VRML

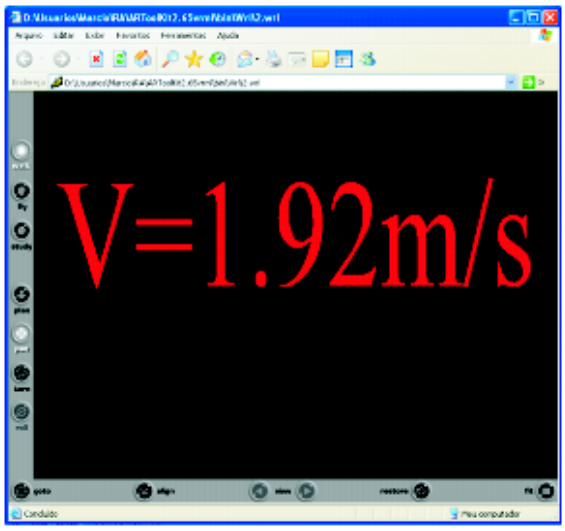


Figura 28: Resultado VRML

Após a identificação do objeto em movimento, relaciona-se o experimento com fórmulas da Física relativas aos cálculos matemáticos para identificação de valores como aceleração, velocidade, etc.

A Figura 29 ilustra o código fonte de como é realizada a criação dos arquivos wrls.

```
/* escrever no arquivo VRML */
 acel = (mb*g)/(ma + mb);                                   // Fórmula da aceleração
 vel = (vo + (acel*tempt));                                 // Fórmula da velocidade
 cab = "#VRML V2.0 utf8";                                   // Cabeçalho VRML
 codigo1 = "Transform {                                     // Código inicial de trasformação das propriedades de
                                                               um objeto virtual
                        scale 5.6 8 8
                        children [ Shape {
                        appearance DEF Cor_Strings
                        Appearance {
                                  material Material
                                { diffuseColor 1 0 0 }
                                }
                        geometry Text { string \"";
 codigo2 = "\" fontStyle FontStyle                          // Código final
              { style \"bold\" } } } ] }";
 codigo3 = " V=";
 codigo4 = "m/s ";
 sprintf( buffer,"Wrl/%d.wrl", i);                          // Carrega no buffer o arquivo i.wrl
 stream = fopen( buffer, "w");                              // Abre o Arquivo i.wrl para escrita
 fprintf( stream, "%s", cab);                               // Escreve no arquivo os códigos
 fprintf( stream, "\n%s", codigo1);
 fprintf( stream, "%s", codigo3);
 fprintf( stream, "%3.2f", vel);
 fprintf( stream, "%s", codigo4);
 fprintf( stream, "%s", codigo2);
 fclose( stream );                                          // Fecha o arquivo i.wrl
```

Figura 29: Código para gerar o arquivo VRML.

5.4 Atualização dos Objetos Virtuais

A modificação para atualização do objeto virtual no ARToolKit, consiste em realizar uma nova leitura do objeto referido após a sua modificação, o que antes era feito somente uma única vez na inicialização do software.

Para isso foi inserido uma função na biblioteca Arvrml, que se encontra dentro do diretório ARToolKit2.65vrml/lib/libarvrml/arvrml, e através do projeto arvrml.dsp, pôde-se implementar a releitura do código wrl modificado.

Mediante análise do código da função arVrml97LoadFile(), que é a responsável pela leitura dos objetos virtuais, foi criada uma nova função chamada arVrml97ReloadFile, onde esta nova função realiza somente a leitura do objeto alterado, ver Figura 30.

A assinatura da função arVrml97ReloadFile também deve ser acrescida no cabeçalho do arquivo vrml97.h do software ARToolKit.

Após feitas as alterações, basta compilar a biblioteca e inserí-la na pasta /lib. É aconselhável a renomeação deste arquivo para que não haja perda do arquivo original.

```
int arVrml97ReloadFile(int id,char *name)                    // Função para Releitura do Objeto Virtual
{
 FILE          *fp;
 VrmlScene       *vrmlScene;
 char          buf[256], buf1[256];
 int           i;
 for( i = 0; i < AR_VRML97_MAX; i++ )                        // AR_VRML97_MAX – número máximo
  {
    if( viewer[i] == NULL ) break;
  }
 if( i == AR_VRML97_MAX ) return -1;
 id = i;                                                     // de objetos VRML que podem ser lidos
 if( (fp=fopen(name, "r")) == NULL ) return -1;              // abre o arquivo .dat - >wrl
 get_buff(buf, 256, fp);                                     // obtem o arquivo do buffer
 if( sscanf(buf, "%s", buf1) != 1 )                          // lê o arquivo
  {
   fclose(fp);  return -1;
  }
 vrmlScene = new VrmlScene( buf1, buf1 );                    // gera uma nova sena
 if( vrmlScene == NULL )
  {
   fclose(fp);   return -1;
  }
 viewer[id] = new arVrml97Viewer( vrmlScene );               // visualiza nova cena
 if( viewer[i] == NULL )
  {
    delete vrmlScene;  fclose(fp);  return -1;
  }
                                                             // copia a identificação da cena do buffer
 if( sscanf(buf, "%lf %lf %lf", &viewer[id]->translation[0],  // verifica se existe translação no arquivo .dat
     &viewer[id]->translation[1],
          &viewer[id]->translation[2]) != 3 )
  {
   delete viewer[id]; viewer[id] = NULL; fclose(fp); return -1;
  }
 get_buff(buf, 256, fp);
 if( sscanf(buf, "%lf %lf %lf %lf", &viewer[id]->rotation[0],  // verifica se existe rotação no arquivo .dat
     &viewer[id]->rotation[1], &viewer[id]->rotation[2],
          &viewer[id]->rotation[3]) != 4 )
  {
   delete viewer[id]; viewer[id]=NULL; fclose(fp); return -1;
  }
 get_buff(buf, 256, fp);
 if( sscanf(buf, "%lf %lf %lf", &viewer[id]->scale[0]0,      // verifica se existe escala  no arquivo .dat
          &viewer[id]->scale[1], &viewer[id]->scale[2]) != 3 )
  {
   delete viewer[id]; viewer[id] = NULL; fclose(fp);  return -1;
  }
 for(;;)
  {
   if( get_buff(buf, 256, fp) == NULL ) break;
   sscanf(buf, "%s", buf1);
   if( strcmp(buf1, "LIGHT") == 0 )
    {                                                        // carrega iluminação
     if( load_light(viewer[id], buf, 256, fp) < 0 ) break;
    }
  }
 fclose(fp);  return id;
}
```

Figura 30: Código para a função arVrml97ReloadFile

Já no projeto SimpleVRML, que se encontra no caminho ARToolKit2.65vrml/examples/simpleVRML, basta inserir a chamada da função de acordo com a necessidade. Neste caso é necessário realizar a releitura do arquivo vrml a cada nova leitura de quadro de imagem da câmera. Com isso, a inserção da chamada da função foi feita como sendo o último comando da função mainLoop(), como pode ser visto na Figura 31.

```
static void mainLoop(void)
{
 ...
 if( object[i].visible == 0 )
  {
   ...
   //atualiza o wrl em tempo real
   object[i].vrml_id = arVrml97ReloadFile(object[i].id, object[i].name);
  }
 ...
}
```

Figura 31: Atualização do Objeto Virtual no SimpleVRML

Feito isto, basta compilar o projeto simpleVrml e gerar o arquivo executável.

Com a implementação da atualização dos objetos virtuais realizada, o próximo passo foi criar uma rotina para identificação dos tempos de aparição de cada marcador.

Inicialmente, buscou-se identificar o primeiro marcador e atribuir a este, os valores iniciais do experimento, como velocidade inicial e tempo inicial.

A Figura 32 mostra como foi realizada a captura do tempo.

```
if( object[i].visible == 0 )
 {
  arGetTransMat(&marker_info[k],
  object[i].marker_center, object[i].marker_width, object[i].trans);
  temp3[object[i].id] = clock();              // inicialização do tempo
  if (object[i].id == 0)                      // verifica se objeto visível é o marcador inicial
   {
    tempt = 0;
    start = (double)clock();
   }
   else
     {
          finish = (double)clock();                          // obtém o tempo de aparição do marcador atual
          duration[object[i].id] = (double)(finish - start);  // obtenção do tempo entre um marcador e outro
          tempt = ((temp3[object[i].id] - duration[1])/1000); // tempo total em segundos
     }
 }
```

Figura 32: Código para detectar marcador e iniciar o temporizador.

A variável *start* armazena o tempo em que o objeto que se movimenta fica parado no início do experimento. Desta forma, quando o experimento começa, esse tempo deve ser desconsiderado, ou seja, ele deve ser subtraído nos cálculos. Este artifício teve de ser utilizado, pois a partir do momento em que o programa é executado e o objeto número 1 (um) é identificado o *clock* do sistema também é inicializado.

A variável *finish* armazena o tempo atual em que o objeto em movimento passa pelo marcador, onde a duração, ou seja, o Δt, dá-se pela subtração do tempo atual pelo tempo inicial.

Conseguido o Δt, basta encontrar-se a aceleração e posteriormente utilizarmos a fórmula da velocidade, como já mostrado na Figura 29.

5.5 Estudo de Caso

O Estudo de Caso envolve um experimento físico baseado na utilização de um *Air Track* (Trilho de Ar). A utilização deste experimento deu-se pelo fato de sua importância ao tratamento em relação ao movimento retilíneo uniforme, pois existe nele o envolvimento da segunda Lei de Newton-Galileu, além de abranger princípios mecânicos e cinemáticos.

5.5.1 Análise de Movimentos no Experimento

Neste experimento, um planador de massa *Ma* desliza praticamente sem atrito[4] sobre uma superfície retilínea, puxado por um porta-pesos de massa *Mb*, estando os dois ligados por um fio leve, que passa por uma polia fixa também considerada ideal, como pode ser visto na Figura 33.

[4] Força exercida sobre cada corpo oposta à direção de seu movimento relativo ao outro corpo, sempre que a superfície de um corpo desliza sobre a de outro.

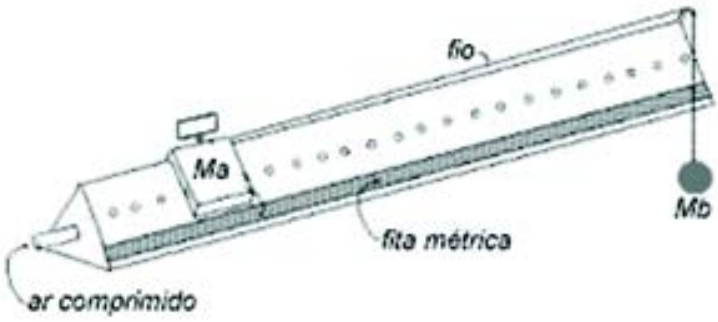


Figura 33: Trilho de Ar (Segunda Lei de Newton)

Desta forma, tem-se os seguintes valores iniciais como entrada:

- Velocidade inicial em metros/segundos;
- Tempo inicial em segundos;
- Coeficiente de atrito;
- Massa de A em gramas;
- Massa de B em gramas;
- Aceleração da gravidade - g = 9,8 m/s^2.

Neste caso foi considerado o coeficiente de atrito igual a zero, onde não há contato do objeto com a superfície. A Figura 34 mostra as forças exercidas sobre os corpos.

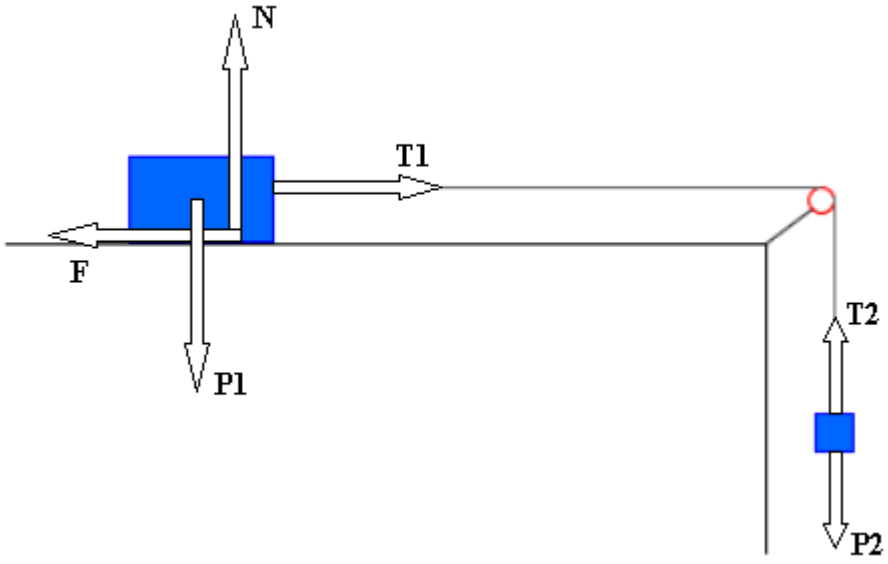


Figura 34: Forças sobre os corpos

Onde:

F - força de atrito exercida sobre o bloco 1;

N - força normal exercida sobre o bloco 1;

P1 - peso do bloco 1;

P2 - peso do bloco 2;

T1 - tração exercida sobre o bloco 1;

T2 - tração exercida sobre o bloco 2;

Descobertas as forças que exercem sobre os corpos, foram escritas as Fórmulas [1, 2] para aceleração e velocidade, que serão aplicáveis ao código implementado:

$F = \mu.N;$

$P1 = N = m1.g;$

$P2 - F = (m1 + m2).a;$

$a = m2.g – \mu.N / (m1 + m2);$

$a = m2.g – \mu.m1.g / (m1 + m2);$

[1] $a = (m2 – \mu.m1).g / (m1 + m2);$

[2] $v = v_0 + a.t;$

5.6 Implementação dos Marcadores

O problema eventualizado para esta dissertação implica na realização da captura de movimentos em uma determinada cena e desta forma identificar algumas informações. Como o desenvolvimento deste trabalho faz uso do software ARToolKit, e este utiliza marcadores para relacionar uma cena do ambiente real com objetos virtuais, é preciso identificar uma forma de integração entre os movimentos de um experimento e os marcadores. Uma solução encontrada foi utilizar marcadores abertos como ilustrado na Figura 35.

Figura 35: Marcadores Abertos

Desta forma, um objeto em movimento passando por um marcador causa o seu fechamento, identificando então uma ação a ser realizada. A Figura 36 ilustra este acontecimento.

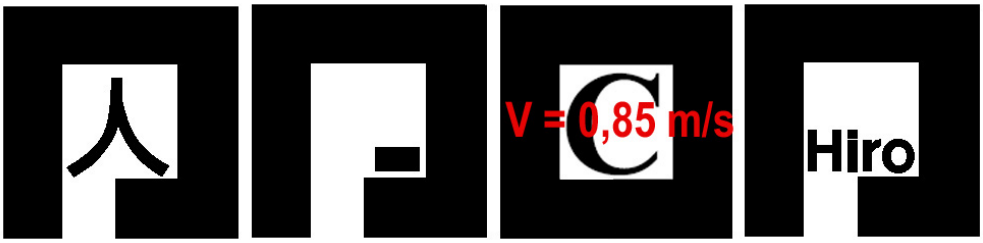


Figura 36: Marcador Fechado Exibindo a Velocidade.

A questão primordial para a realização destes cálculos, está na captura dos tempos para comparação em determinados pontos relacionados ao movimento percorrido, pois a maioria destas fórmulas necessita da aquisição do Δt. Assim, a estratégia empregada foi utilizar um marcador específico para inicializar o evento. Desta maneira, quando tal marcador é identificado ele atribui os valores iniciais do experimento, como visto na Figura 37.

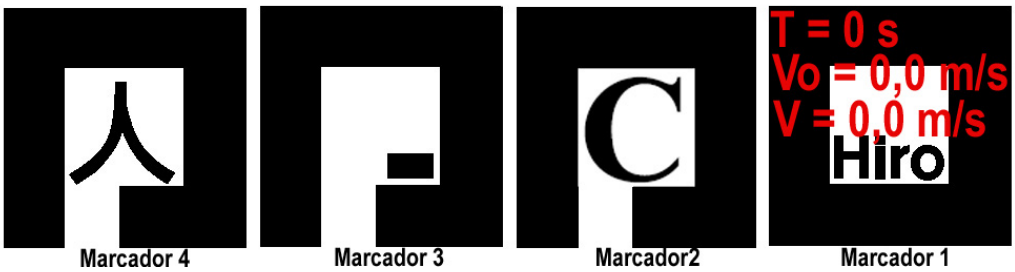


Figura 37: Marcador Fechado Exibindo os Valores Iniciais

Logo, a aquisição do tempo decorrido só se inicia com o momento em que este marcador deixa de ser visualizado e, desta forma, o experimento começa a ser medido. A

captura dos tempos foi realizada através da utilização do *clock* do sistema. Assim, quando um marcador é identificado, o tempo relativo ao *clock* no momento da identificação é armazenado. Esses tempos são armazenados em forma de vetor, o que possibilita a comparação do tempo do marcador atual com o marcador anterior, adquirindo desta forma o Δt.

Para a realização do experimento, em primeiro momento, utilizou-se a forma inicial de implementação dos marcadores, onde só uma pequena parte do marcador encontrava-se aberta, como pode ser visto através da Figura 38.

Figura 38: Marcador Aberto

A estratégia consiste em fixar os marcadores atrás do trilho de vento, como pode ser visto na Figura 39.

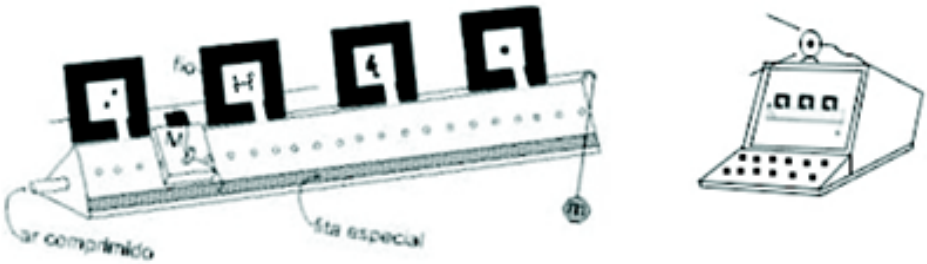


Figura 39: Experimento com Marcadores

No primeiro teste foram utilizados marcadores de tamanho 20x20 cm, e a distância entre cada marcador foi de 12 cm.

Como o sensor do medidor digital de tempo não suporta uma distância maior que 90 cm, foram utilizados neste primeiro momento apenas 3 marcadores para ser efetivada a medição (Figura 40).

Figura 40: Marcador Tipo 1 – Experimento 1

Para realizar a medição real dos tempos foi utilizada uma outra câmera a fim de gravar os tempos exatos do momento em que o objeto passava frente ao marcador. Com este filme, pôde-se analisar quadro a quadro e através de cálculos manuais, verificar se os resultados exibidos com o uso de RA estavam corretos.

A relação entre o experimento físico e RA se dá na mudança dos valores do tempo durante o experimento enquanto o corpo está em movimento. O sistema detecta os marcadores e os tempos em que estes foram identificados, podendo desta forma trabalhar com estes valores na geração de informações como aceleração e velocidade do objeto.

Posteriormente, foi realizado um experimento utilizando novos marcadores. Desta vez, para conseguir uma melhor amostragem dos resultados, foram utilizados marcadores de tamanhos 11x11 cm, distância entre cada marcador de 2 cm, capacitando o uso de 7 marcadores em um espaço de 90 cm, como pode ser visto na Figura 41.

Desta forma, um número maior de marcadores pode ser implementado e conseqüentemente a obtenção de um número maior de informações.

Figura 41: Marcador Tipo 2 – Experimento 2

Como visualizado na Figura 41, os marcadores estão totalmente abertos na parte inferior. Assim o objeto do planador do trilho de vento torna-se a base do marcador e com isso a identificação do mesmo acontecerá quando ele for fechado pelo tamanho exato do objeto do planador, permitindo medidas precisas.

Como ressaltado anteriormente, a identificação do primeiro marcador dá-se ao início do experimento, por não ser possível sintonizar o início do *clock* do sistema com o início do experimento.

Desta forma, quando o primeiro marcador é identificado, inicia-se a contagem de tempo, mas o experimento só acontecerá, quando este primeiro marcador não for mais visível.

Portanto, deve-se considerar o tempo em que o objeto permanece em estado de repouso, no primeiro marcador. Este tempo precisa ser desconsiderado, para que os cálculos das fórmulas físicas tenham maior exatidão no experimento proposto. Essa solução gera um problema, pois logo que o marcador é identificado o *clock* do sistema também é acionado. Desta forma, um atraso ocorre entre o tempo em que o objeto continua parado até o momento em que ele realmente começa o seu movimento.

A Figura 42 mostra um exemplo de um *delay* de 20 segundos no marcador um.

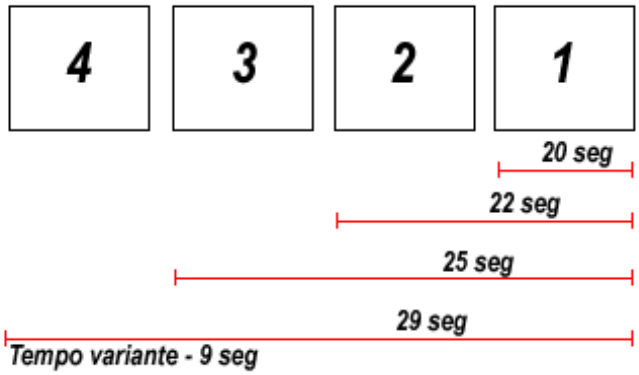


Figura 42: Atraso ocorrido no início do experimento

Então supondo que antes do início do movimento o marcador um fique sendo visualizado durante 20 segundos, ou seja, um estado de repouso, para efeito de cálculos estes 20 segundos devem ser desconsiderados. Analisando então a Figura 42, a variação de tempo Δt durante o experimento foi de 9 segundos.

5.7 Considerações Finais

A utilização da RA pode contribuir para a construção do conhecimento humano, uma vez utilizando-se destes pressupostos, pode-se compreender na totalidade ações que até anteriormente só podiam-se imaginar, como o descrito na proposta do trabalho pode-se medir, calcular, entender como acontece o dinamismo do fator tempo, nas questões físicas.

A arquitetura proposta condiciona um ambiente virtual embasado num sistema com facilitadores, possibilitando sua manipulação e oferecendo um acesso simples, capaz de ser entendido por todos.

Existem muitas vantagens neste método, uma vez que sua acessibilidade é um fator eminente, pois possibilita à todos poderem controlar, melhorar estabelecer novos parâmetros para análise. Outro ponto é sua apresentação simples que estabelece uma conectividade melhor com o usuário.

Na implementação do sistema utilizou-se de marcadores abertos, uma vez que do modo contrário, a observação fica restrita ao trajeto como um todo, e neste pode se perceber o objeto em movimento e a sua transposição dos obstáculos (marcadores), o que possibilita uma melhor visualização, simplesmente porque a cada marcador alcançado fecha-se o mesmo, ilustrando a linha de percurso.

O ambiente proposto mostrou-se possível a ser entendido, por poder proporcionar ao usuário maior percepção dos acontecimentos através da visualização de informações em tempo real. No seguinte capítulo, apresentar-se-á resultados e limitações do sistema.

Capítulo 6

Resultados e Limitações do Sistema

6.1 Introdução

Este capítulo apresenta, mediante a compreensão do estudo de caso apresentado no Capítulo 5, o funcionamento do sistema de RA para análise quantitativa de movimentos na área de mecânica. Para tanto foram realizados alguns testes que por meio destes pôde-se ter uma medição real de dados dos quais puderam ser feitas comparações, identificando as margens de erros e a acurácia do sistema. Também foram aplicados questionários a usuários potenciais, e os resultados obtidos também são discutidos neste capítulo.

6.2 Avaliação do Sistema

A avaliação do sistema foi realizada considerando os itens conseguidos através da medição dos valores obtidos, limitações do sistema, análise de erros dos resultados e avaliação por meio de questionários, com usuários potenciais.

6.2.1 Medição de Valores

Para medição dos valores, utilizou-se um sensor que identifica o momento exato em que o objeto inicia o movimento. Assim que o sensor identifica o início de um movimento, um temporizador digital começa a medir o tempo. De forma a sincronizar o início do experimento real com o início do programa computacional, colocou-se o sensor inicial de medição de tempo na borda do marcador um como mostrado na Figura 41.

Como citado anteriormente, uma outra câmera foi utilizada para capturar os tempos adquiridos pelo temporizador para que desta forma pudesse ser realizado a comparação entre as imagens e dados fornecidos através da RA e os dados realmente esperados. Com a aquisição dos tempos através do temporizador, puderam-se realizar os cálculos das fórmulas físicas e com isso encontrar as variáveis reais como aceleração e velocidade. Esta medição foi feita após a realização do experimento, onde se comparou os dados obtidos através da webcam com os tempos obtidos e armazenados através da filmagem de uma outra câmera

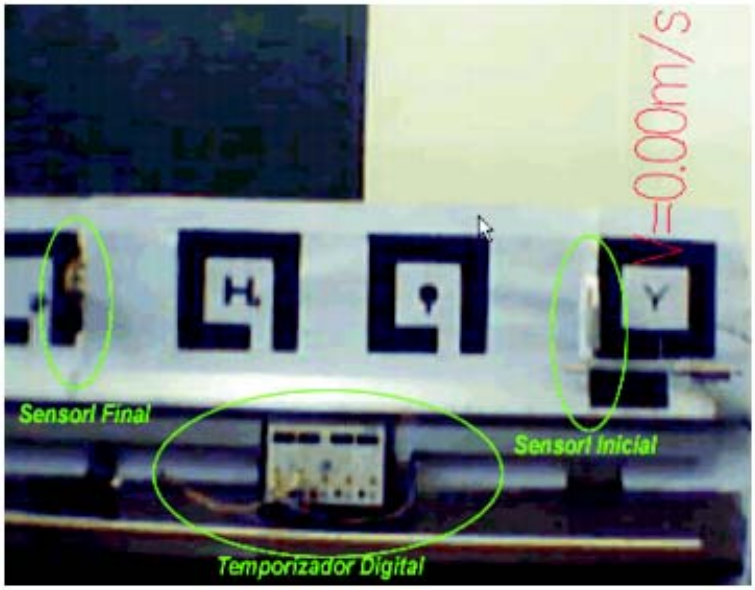


Figura 43: Sensores e Temporizador

6.3 Limitações do Sistema

Alguns itens que pudessem de alguma forma prejudicar ou interferir na realização do experimento através da RA foram observados. Estes itens dizem respeito às questões de iluminação, ângulos e rastreamento.

6.3.1 Iluminação

Observou-se que o excesso de luz ou a falta dela pode comprometer a detecção dos marcadores. Algumas vezes, quando se posicionava os marcadores em sentido direto da luz,

isto causava um efeito de reflexo e a câmera não conseguia localizar os marcadores. Na diminuição da iluminação o ambiente se tornava às vezes instável, os marcadores em alguns momentos eram identificados e em outros não.

Desta forma, foi percebido que a iluminação não pode sofrer grandes variações, sob pena de comprometer a visualização do marcador.

Para amenizar este fator, optou-se pela utilização de materiais foscos, ou não reflexíveis, na confecção de marcadores, pois como visto, caso a superfície do marcador seja muito brilhante, ele não será reconhecido.

Uma questão analisada foi a verificação do ângulo com que os marcadores faziam em relação à iluminação do ambiente. Assim, um ajuste manual para identificar o melhor posicionamento dos marcadores em relação a luminosidade do ambiente deve ser realizado.

6.3.2 - Visão da Câmera

Para que a abrangência da imagem capturada pela câmera tome todo o experimento, colocou-se a câmera a uma distância de 2 metros em relação aos marcadores.

Para o correto funcionamento de um sistema de RA é imprescindível que objetos reais e virtuais estejam devidamente alinhados para que se tenha uma perfeita ilusão de coexistência dos dois ambientes. Esse alinhamento é chamado de registro e tem como objetivo informar o sistema sobre a posição e as dimensões de objetos reais que irão compor o cenário visualizado.

O ARToolKit trabalha com registro ótico por reconhecimento. Esta técnica faz uso da captura e processamento de imagens do ambiente real para a determinação da posição dos objetos reais que compõe a cena, tendo duas formas de atuação.

A primeira baseia-se na captura da imagem do ambiente real, detecção dos contornos dos objetos e posterior identificação dos mesmos por meio de técnicas de reconhecimento de padrões. Essa técnica possui uma ótima eficiência e velocidade de processamento para ambientes de dimensões com 40 objetos simples, porém sofre uma alta degradação de qualidade a grandes distâncias, devido à necessidade de grande resolução requerida na captura das imagens e ainda se a variedade dos objetos é muito grande e/ou eles são muito complexos no que diz respeito à sua forma [Grohs et al, 2002].

A segunda forma de registro por reconhecimento faz uso de marcadores previamente inseridos e posicionados nos objetos, para que possam ser reconhecidos em tempo de execução. Ao contrário da primeira, essa técnica pode ser efetuada em ambientes maiores e mais complexos desde que os marcadores sejam bem escolhidos e posicionados.

Para um melhor desempenho foram então realizados testes para o reconhecimento dos marcadores utilizando visão frontal e lateral da câmera em relação aos marcadores como pode ser visto na Figura 37.

Através da Figura 44 (b), pode-se notar que há uma melhor visualização dos marcadores que estão mais próximos a câmera, mas existe um comprometimento na visualização dos últimos marcadores. Realizados os testes, notou-se que a identificação dos marcadores pelo ARToolKit estava pior que as conseguidas através da Figura 44(a). Isto se deve ao fato de que a identificação destes marcadores se dá através da comparação de um modelo criado no momento do cadastramento do marcador

.

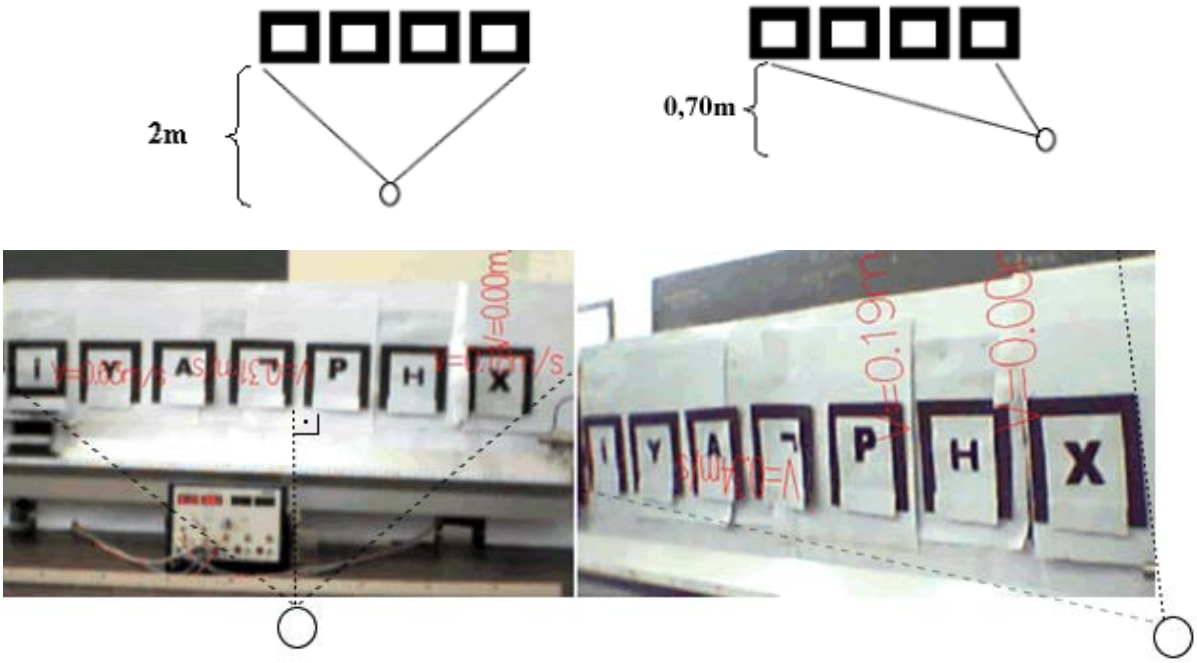


Figura 44 (a): Visualização Frontal da Câmera.

Figura 44 (b): Câmera ao Lado.

Desta forma, a calibração feita para o experimento da Figura 44 (a) para o cadastramento dos marcadores, não pode ser reutilizada para o experimento da Figura 44 (b), pois muitos marcadores na mudança de ângulos não foram reconhecidos, sendo necessário a realização de uma nova calibração para todos os marcadores.

Com esta análise, a melhor opção ficou sendo a Figura 44 (a), que apesar de exigir uma distância maior entre a câmera e os marcadores para enquadramento de todos estes, mostrou melhor desempenho, pois a Figura 44 (b) favorece muito a captura do movimento no início do experimento, ou seja, nos marcadores iniciais, mas não nos últimos. Uma possível solução para a Figura 44 (b) seria a utilização de duas câmeras uma em cada canto do experimento, o que não foi testado nos experimentos realizados.

Uma outra solução poderia ser colocar câmera sobre a cabeça do usuário, pois desta forma o acompanhamento do movimento poderia ser feito sobre ponto de vista do usuário.

6.3.3 Rastreamento

O espaço de captura do ARToolKit, distância entre o marcador e a câmera, não pode exceder 2,5 metros [Malbezin, 2002]. Esta distância pode variar dependendo da câmera ou marcador utilizados. Câmeras mais modernas, com resoluções maiores e marcadores também maiores, podem aumentar a distância entre estes.

Caso a câmera não consiga focalizar claramente o marcador, devido a distância muito grande ou um tamanho muito pequeno do marcador, haverá comprometimento da captura da imagem fazendo com que essa não seja reconhecida ou que os resultados apresentados sejam inexatos.

Uma solução para este tipo de problema é o uso de marcadores com tamanhos apropriados, onde Kato [Kato, 1999] sugere as seguintes medidas de distâncias:

Tabela 6 - Distância dos Marcadores

Marcador	Distância
Pequeno (até 5cm)	20cm a 60cm da câmera
Médio (de 5cm a 9 cm)	40cm a 2m da câmera
Grande (acima de 9 cm)	1m a 5m da câmera

A câmera utilizada foi uma WebCam Creative NX, com resolução máxima de 640x480 pixels, com taxa de transferência de 30 quadros por segundo, e como já citado anteriormente no primeiro teste foram utilizados marcadores de tamanho 20x20 cm enquanto no segundo foram utilizados marcadores de tamanhos 11x11 cm e a distância entre a câmera e os marcadores variando de 0,70m a 2,0m, estando dentro dos padrões citados acima.

6.3.4 Erros Percebidos

As medidas nunca são feitas com precisão absoluta. As grandezas físicas obtidas pela observação experimental sempre apresentam incerteza [Sears, 1983].

Dados como distância, podem ser expressos em metros, centímetros, milímetros, por exemplo. Tempos podem ser expressos em horas, minutos, segundos, milisegundos e assim por diante. Desta forma a precisão pode ser expressa em termos do máximo erro fracional ou percentual provável [Sears, 1983].

Quando se usam números com incertezas ou erros para calcular outros números, estes também serão imprecisos [Sears, 1983]. É particularmente importante compreender isto quando se deseja comparar um número obtido através de medidas com um valor obtido por uma previsão teórica.

Devido ao tempo de processamento entre a captura da imagem da câmera até a sua análise, poderia ser gerado algum tipo de erro nos valores a serem impressos nos objetos virtuais. Para análise destes erros foram realizadas comparações entre os resultados realmente esperados e os obtidos através do uso da RA.

Assim, testes foram realizados para visualizar se um experimento resultaria dados diferentes de outro. A aquisição dos dados se deu através da utilização dos sensores e do temporizador digital como será mencionado na seção 6.2.

Para registrar estes dados, foi utilizada uma outra câmera, como mostrado na Figura 38 além da webcam utilizada para o processamento do ARtoolkit para que se fizesse uma análise quadro a quadro do filme do tempo real do experimento.

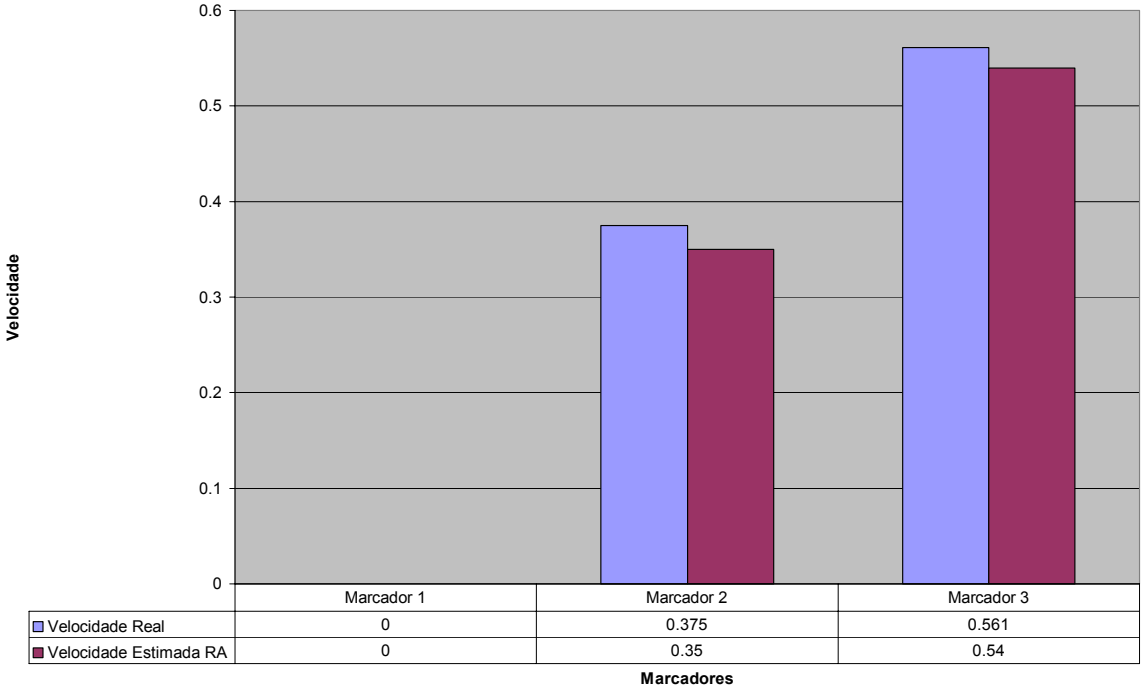
Figura 45: Imagem Capturada pela Segunda Câmera

De posse dos dados dos tempos, pôde-se através das fórmulas da Física obter os resultados realmente esperados e realizar uma comparação com os dados fornecidos ela RA. Era de se esperar que nos resultados pudesse haver algumas variações devido ao atraso já mencionado anteriormente.

Mas como pode ser visto nas Figuras 46 e 47, a faixa de erro entre o valor real estimado e o valor obtido através da RA foi pequena, o que torna o uso da RA para a medição quantitativa de movimento viável.

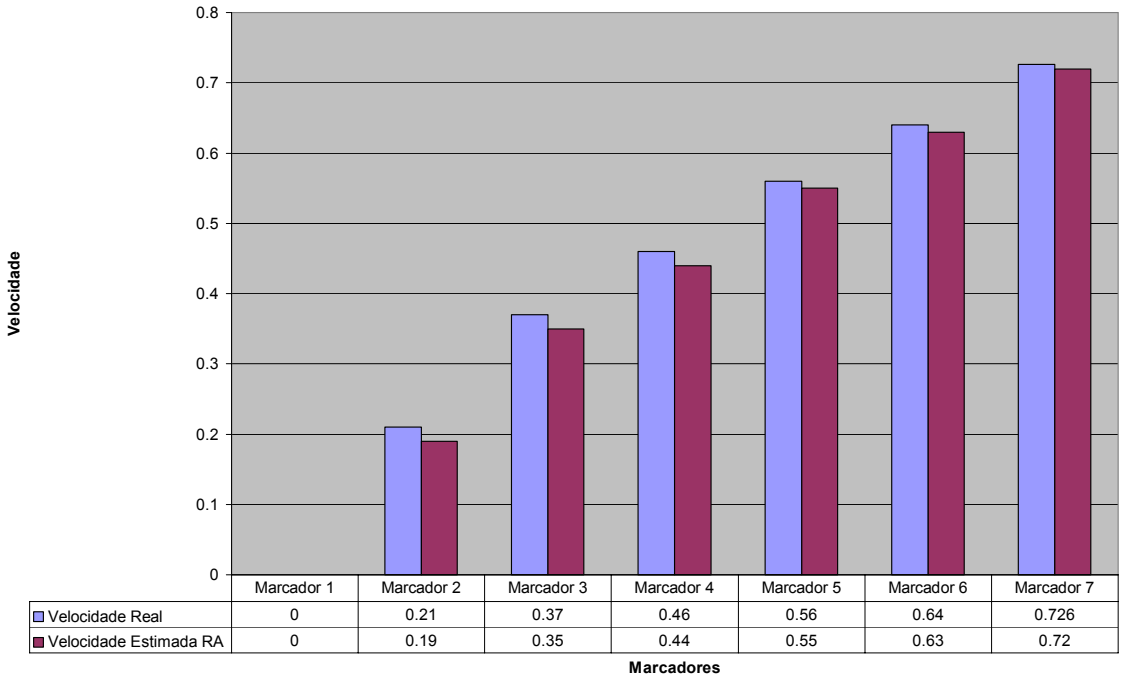
Provavelmente, com a inserção do tempo de atraso na fórmula, os resultados seriam mais exatos, no entanto, isto poderia mudar as condições reais do experimento, caso este se propague por um certo período de tempo superior ao que foi realizado neste trabalho. Para isto, um outro um outro tipo de experimento teria que ser realizado, onde o tempo deste experimento perdurasse por um período maior.

O gráfico da Figura 46 mostra os resultados referente a realização do experimento utilizando-se três marcadores enquanto a Figura 47 tem-se a utilização de 7 marcadores.



	Marcador 1	Marcador 2	Marcador 3
Velocidade Real	0	0.375	0.561
Velocidade Estimada RA	0	0.35	0.54

Figura 46: Experimento 1

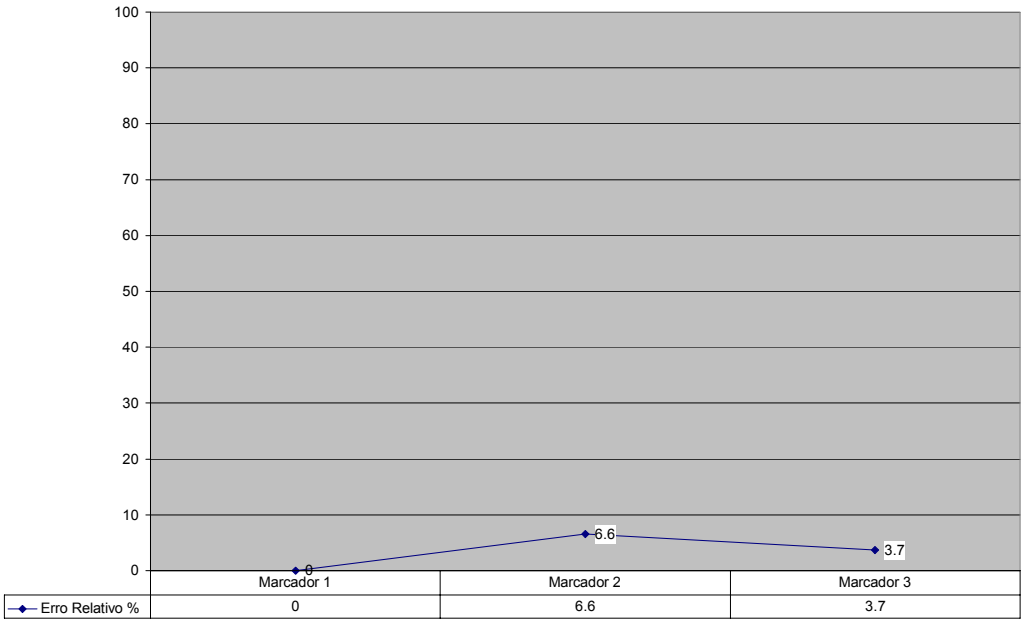


	Marcador 1	Marcador 2	Marcador 3	Marcador 4	Marcador 5	Marcador 6	Marcador 7
Velocidade Real	0	0.21	0.37	0.46	0.56	0.64	0.726
Velocidade Estimada RA	0	0.19	0.35	0.44	0.55	0.63	0.72

Figura 47: Experimento 2

Como pode ser notado, os gráficos das Figuras 46 e 47, podem mostrar as taxas de erros absolutos entre o que era de fato esperado e os resultados fornecidos pelo programa.

Para que se pudesse ter noção em relação aos erros relativos, tem-se a seguinte ponderação vista através das Figuras 48 e 49 em relação aos dois tipos de experimentos realizados.



	Marcador 1	Marcador 2	Marcador 3
Erro Relativo %	0	6.6	3.7

Figura 48: Erro Relativo (Experimento 1)

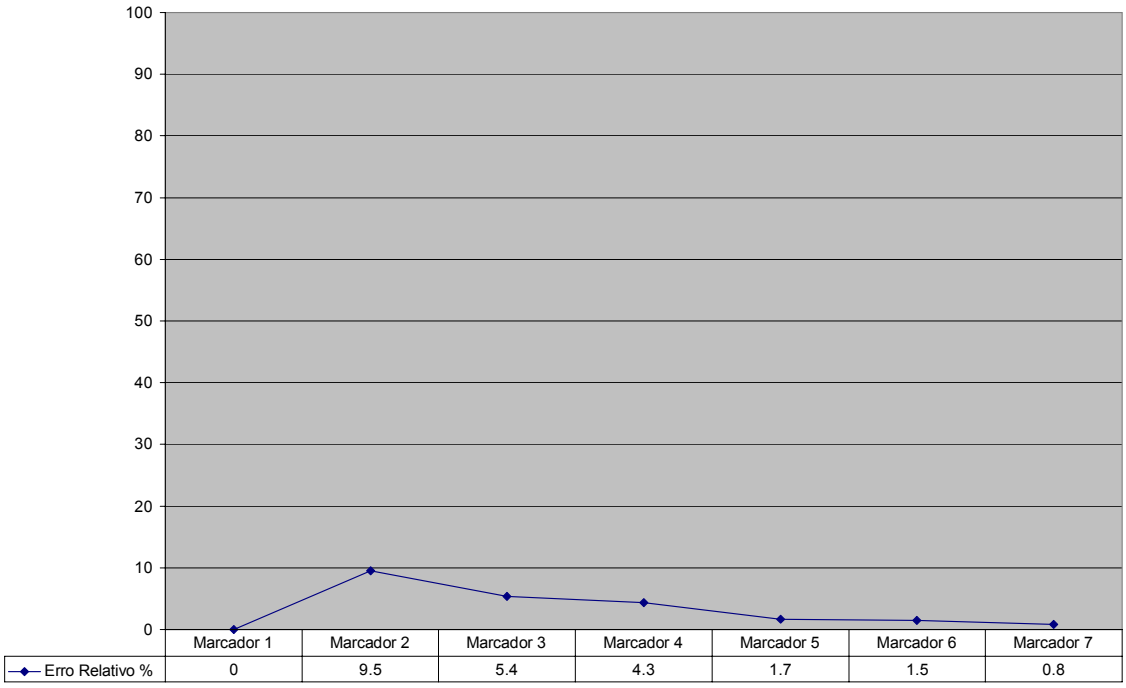


Figura 49: Erro Relativo (Experimento 2)

Analisando os gráficos anteriores, nota-se que a medida que o experimento foi acontecendo, os erros das informações apresentadas através da RA foram diminuindo, isto se deve ao fato da transição do primeiro marcador para o segundo, pois o sensor de medição digital de tempo inicializava a contagem após um simples vestígio de movimento do objeto, enquanto que o ARToolKit não se mostrou tão sensível assim, pois há uma demora da captura e análise da imagem obtida pela webcam após o objeto começar o seu movimento, mesmo que a olhos vistos pareça imperceptível, isso refletiu nos resultados obtidos.

6.3.5 Testes com Usuários Potenciais

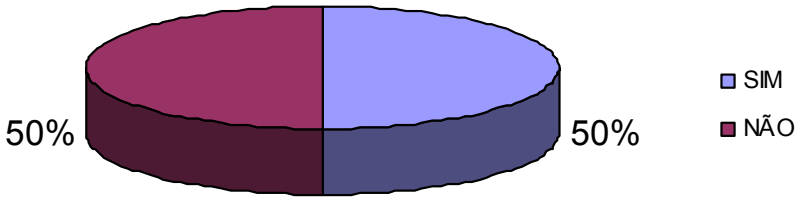
O sistema foi apresentado a uma turma de doze alunos universitários do curso de Física da Universidade Federal de Uberlândia, sendo seis destes cursando o primeiro período e o restante o terceiro período. Primeiramente, foi explicado a esses usuários o objetivo do sistema e, em seguida, a execução do programa.

Após a execução do sistema os usuários responderam um questionário, disponível no Anexo, baseado nos princípios ISONORM 9241-10 Usability (conjunto de normas que

permite avaliar a capacidade de um sistema interativo oferecendo ao seu usuário a possibilidade de realizar tarefas de maneira eficaz e agradável [Prugmper, 1999]) e de acordo com o Checklist do PROINFO (critérios para avaliação especificamente de *softwares* educacionais [PROINF, 2006]).

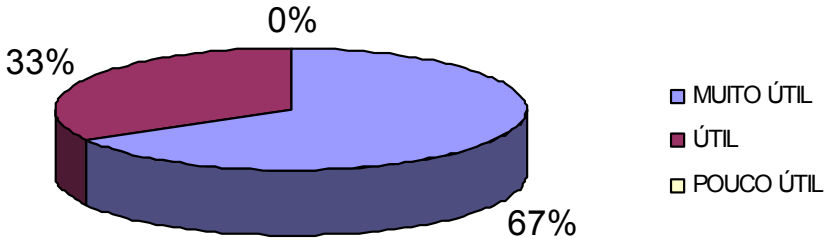
Analisando-se as respostas dos questionários, foi possível avaliar os itens que seguem abaixo e para cada item foi gerado um gráfico comparativo:

- Você já desenvolveu experimento sobre a Segunda Lei de Newton utilizando o Trilho de Ar em um Laboratório de Física?



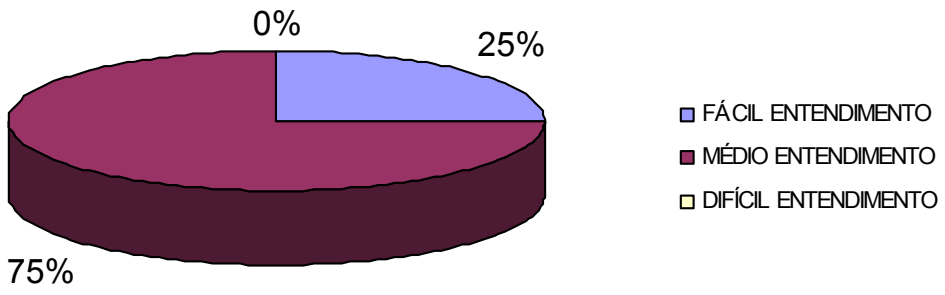
Como pôde ser visto alguns alunos já tinham desenvolvido experimentos em laboratório com o uso do Trilho de AR, mas mesmo assim, alguns destes disseram que com a utilização do sistema o estudo se tornou mais dinâmico e interativo, fazendo com que houvesse um melhor aproveitamento do experimento.

- Quanto à finalidade do sistema



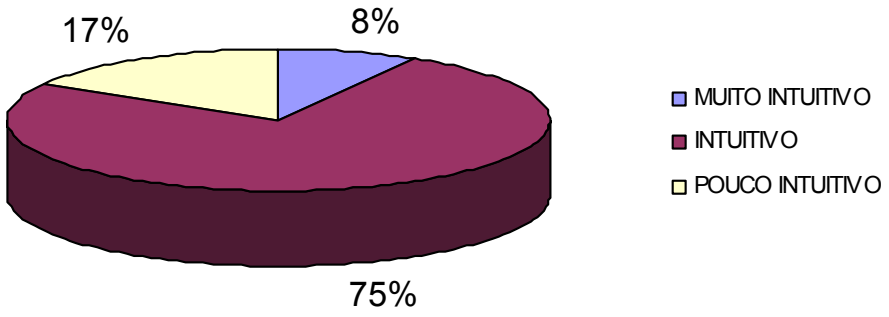
No gráfico, observa-se que a grande maioria dos usuários respondeu que o sistema é **Muito útil**. Algumas pessoas alegaram sobre a importância da 2ª Lei de Newton e disseram que através da utilização do sistema de RA isso fez com que a aprendizagem ficasse mais intuitiva.

- Quanto à Interface do sistema com o usuário



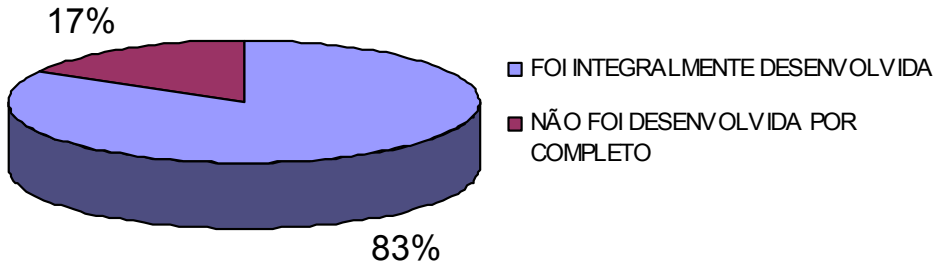
Observando-se os resultados, nota-se que a maioria achou a interface com o usuário de **Médio Entendimento**, muitos justificaram que um usuário comum teria de ter um conhecimento prévio de informática e que uma interface com botões indicando a ação do usuário talvez ficasse mais intuitiva.

- Quanto à facilidade de uso



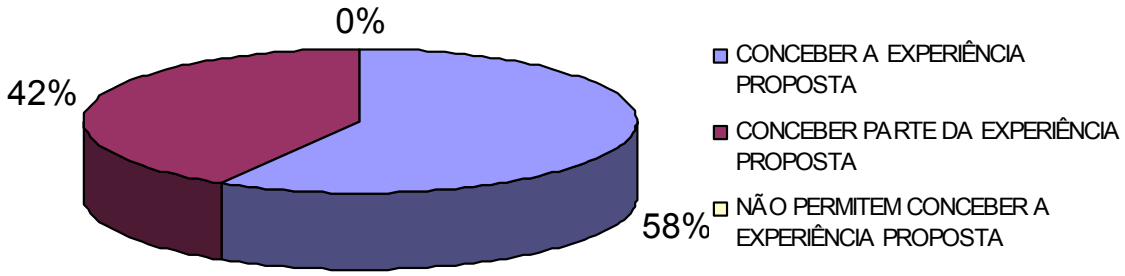
Nesta parte, a maioria dos usuários considerou o sistema de RA para análise de movimentos **Intuitivo**, alguns citaram a necessidade de ter uma explicação de como o sistema funcionam antes de iniciar o experimento, outros não justificaram sua resposta.

- Quanto aos recursos do Programa, a experiência proposta foi



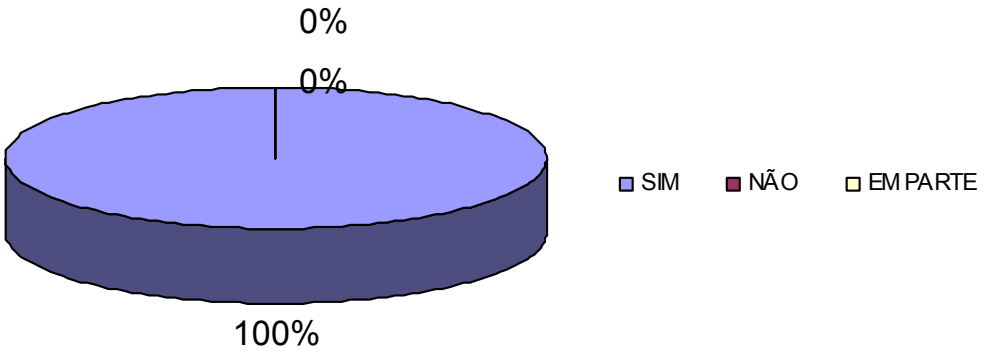
Nesse item a maioria disse que a experiência foi integralmente desenvolvida. Alguns dos entrevistados responderam que a experiência desenvolvida pode ser melhorada com o passar do tempo.

- As informações apresentadas, usando RA, durante o experimento permitem



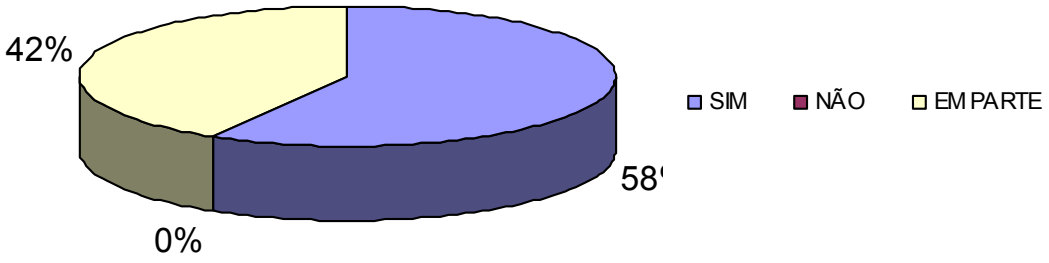
Nesse item, a maioria dos usuários respondeu que os objetos disponíveis são suficientes para realizar a análise do movimento. Outros usuários consideraram que os objetos disponíveis permitem conceber somente parte da experiência, justificando que outras variáveis poderiam ser explicitadas.

- Você conseguiu compreender o uso de RA no experimento?



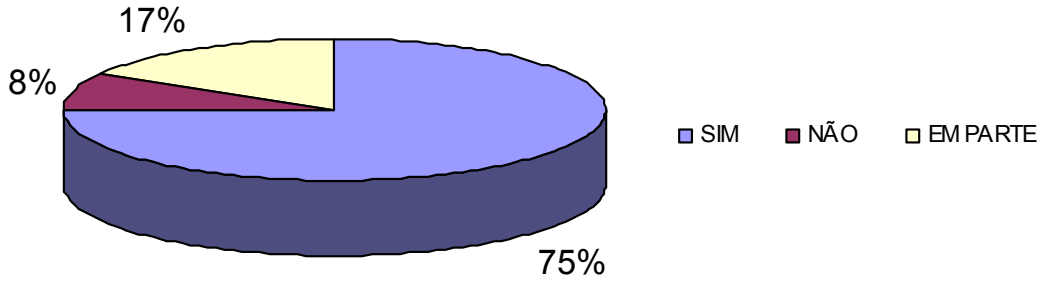
Observando-se o gráfico pôde-se notar que todos os usuários conseguiram compreender o experimento.

- Você considera que o uso da Realidade Aumentada ajudou na compreensão do experimento?



Neste item, grande parte considerou que o uso da RA ajudou na compreensão do experimento. Os que responderam **em parte**, alguns disseram que ela é interessante sobre o ponto de vista didático, no sentido de dar um maior detalhamento do movimento, outros não justificaram. Em relação a isto, vale ressaltar que este melhor detalhamento citado é útil na compreensão, mostrando que o aluno não soube explicar certo a sua resposta.

- O programa permitiu a aquisição de informações úteis durante a sua execução



Pelo gráfico, pode-se observar que a maioria dos usuários considerou que o programa permitiu a aquisição de informações úteis a respeito da análise do movimento. Entre várias justificativas, tem-se usuários que consideraram o sistema muito importante, pois ele exibe em tempo de execução os cálculos teóricos vistos em sala de aula. O único usuário, que disse **não**, justificou que o experimento apenas mostra uma simulação e que isto desperta um interesse maior na sua utilização.

Analisando todos os itens dos questionários, conclui-se que o sistema protótipo desenvolvido foi bem aceito pelos usuários entrevistados. Estes contribuíram com algumas sugestões, descritas a seguir:

- Transpor sobre o objeto real que se move a imagem virtual de um objeto para tornar o experimento mais atrativo e intuitivo, como por exemplo a imagem de um automóvel e ainda foi sugerido que este automóvel tivesse som do barulho do motor;
- Acrescentar cálculos de outras variáveis, como Energia Cinética, por exemplo;
- Melhorar a parte de Módulo de Parametrização gerando uma interface com mais opções de manipulação dos ambientes virtuais.

Analisando as avaliações feitas pelos usuários e as sugestões propostas pelos mesmos, constata-se que houve motivação por parte deles na utilização do sistema, comprovando que a introdução do computador no processo multidisciplinar de ensino tende a impulsionar novos modelos para o processo de ensino/aprendizagem.

6.4 Considerações Finais

O sistema desenvolvido foi apresentado ao grupo acadêmico em Física da Universidade de Uberlândia, do qual pode-se concluir fatos importantes relacionados a analise quantitativa de movimentos.

No momento posterior à vivencia do sistema com os alunos, pôde-se constatar que o sistema cumpriu seus objetivos, uma vez que os marcadores apresentaram uma visualização satisfatória, o que determina características adicionais vistas nas possibilidades e eficiência em relação ao ensino\aprendizagem.

No convívio pessoal dos alunos com o sistema, notou-se a existência da motivação oferecida pela facilidade da contemplação das informações sobre o movimento e como resultado, após o preenchimento de um questionário, ocorreu a apresentação de informações e sugestões oferecidas pelos usuários para melhorar o seu funcionamento.

No próximo capítulo, serão apresentadas as conclusões desse trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 7

Conclusões e Trabalhos Futuros

7.1 Conclusões

Na atualidade, a educação tende a assimilar recursos tecnológicos afim de que sistemas possam dar vazão ao entendimento, contemplação e quantificação de conceitos, para uma metodologia de ensino, que até pouco tempo atrás, contava apenas com a utilização bibliografia para o auxilio e didática da aprendizagem.

Nas análises do desenvolvimento e utilização da RA neste trabalho, pode-se identificar e quantificar as qualidades destes sistemas, sendo estas compreendidas desde acessibilidade, facilidade, visualização e manipulação, até o fato que os tornam recursos possíveis de serem utilizados na interação computacional como ferramenta de auxilio para o ensino e aprendizagem.

Pelas análises e constatações dos trabalhos relacionados, observou-se que a maioria dos sistemas baseados em RA, limitam-se a introduzir informações estáticas no ambiente real, uma vez que os objetos virtuais não sofriam alterações advindas de respostas dos acontecimentos do ambiente real.

Para tanto a pesquisa deste trabalho, procurou desenvolver métodos em RA capazes de associar dinamicamente, informações e dados virtuais em tempo real na medição quantitativa de movimentos de objetos.

A Arquitetura proposta através das bibliotecas do ARToolKit, mostrou ser capaz de associar dinamicamente, informações e dados virtuais em tempo real na medição de movimentos de objetos.

Para tanto, um ajuste nestas bibliotecas por meio da inserção de novas rotinas, tornou o sistema capaz de realizar a atualização de objetos virtuais em tempo de execução, o que não acontecia na sua versão original.

A adequação realizada nos marcadores no estudo de caso para um formato semi-aberto, possibilitou a sincronização do objeto em movimento à visualização de sua informação num determinado momento. A escolha do estudo de caso envolvendo o

experimento físico *Air Track* (Trilho de Ar) se deu pelo fato da sua importância ao tratamento em relação aos movimentos, pois abrange princípios mecânicos e cinemáticos.

O padrão VRML utilizado para a construção dos objetos virtuais, não apresentou nenhuma limitação quanto a integração com o sistema e mostrou-se apropriado para modelar os ambientes virtuais. Porém, o processamento da captura da imagem pela câmera e sua análise mostrou poder incluir certos erros, fazendo com que os resultados obtidos pelo sistema não fosse totalmente fiéis. Entretanto, pôde-se verificar que os erros apresentados foram mínimos, o que não prejudicou a relevância e a fundamental importância do sistema.

Ao avaliar o protótipo por usuários potenciais, constatou-se que o sistema desenvolvido como estudo de caso, mostrou-se adequado visto que foi bem aceito e portanto pode ser utilizada como ferramenta para medição quantitativa de movimentos.

Finalmente, o autor entende que esta pesquisa contribuiu para melhorar o entendimento sobre o uso das técnicas de RA como ferramenta auxiliar ao processo de ensino e aprendizagem.

7.2 Trabalhos Futuros

Como continuação desse trabalho, sugere-se:

- Melhorar o Módulo de Parametrização gerando uma interface com mais opções de manipulação dos ambientes virtuais, assim como para inserção de novos marcadores por parte do usuário;
- Estender o estudo a outros tipos de movimentos;
- Implementar o mesmo trabalho utilizando o método de oclusão;
- Criar a exibição de gráficos em RA sobre o experimento, mostrando a variação das informações em relação ao tempo;
- Implementação para utilização de mais de uma câmera na focalização dos marcadores, podendo melhorar assim a identificação destes em posições extremas diferentes, o que pode não ser tão eficiente com a utilização de somente uma câmera.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[Akagui, 2004] Akagui, C. K. D. (2004). **Lira - livro interativo com realidade aumentada.** VII Symposium on Virtual Reality, Piracicaba, São Paulo.

[Azuma, 1997] Azuma, R. T. (1997). **A Survey of Augmented Reality**. Teleoperators and Virtual Enviroments v. 355-385.

[Azuma, 2001] Azuma, R. T. (2001). **Recent Advances in Augmented Reality**. Computer Graphics and Aplications.

[Benam, 2005] Benam, F. (2005). **Story telling system: Um sistema de autoria temporal de realidade aumentada**. II WorkShop de Realidade Aumentada, 2005, pp. 44-48.

[Billinghurst, 2002] Billinghurst, M. (2002) **Augmented reality in education**. Disponível em: <http://www.newhorizons.org/strategies/technology/billinghurst.htm>. Acesso em 12/04/2005.

[Braga, 2001] Braga, M. (2001) Realidade Virtual e Educação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.1, n.1.

[Buford, 1994] Buford, J. F. K. (1994). **Multimedia systems**. (SIG-GRAPH).

[Cardoso et al, 2004] Cardoso A., Soares L. P. (2004). **A RV suportada pelas tecnologias vrml e x3d.** Livro dos Minicursos do VII Symposium on Virtual Reality, v. 01, pp. 25-28.

[Consularo et al, 2004] Consularo, N. C., Junior, C. (2004). **Artoolkit - aspectos técnicos e aplicações educacionais**. Livro 55 dos Minicursos do VII Symposium on Virtual Reality, v. 01, pp. 141-182.

[Grohs et al, 2002] Grohs, E. M., Maestri, P. R. B. (2002). **Realidade aumentada para Informações geográficas**. Porto Alegre.

[Inkpen, 1997] Inkpen, K. (1997). **Adapting the Human Computer Interface to Support Collaborative Learning Environments for Children**. Tese (Doutorado, Dept. of Computer Science, University of British Columbia).

[Kato, 1999] Kato, H. (1999). **ARToolKit**. Disponível em: <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>. Acesso em 04/04/2005.

[Kirner et al, 2004] Kirner C., Providelo, C. (2004). **Realidade aumentada: Conceitos e ambientes de hardware**. Livro dos Minicursos do VII Symposium on Virtual Reality, v. 01, pp. 141-182.

[Kirner, 2005] Kirner, C. (2005). **Sistemas de Realidade Virtual**. Apostila do ciclo de palestras de realidade virtual, UFSCar. Disponível em <http://www.dc.ufscar.br/~grv/tutrv/tutrv.htm>. Acesso em 06/09/2005.

[Kirner, 2006] Kirner, C. (2006) **Sistema Complexo Aprendente: Um Ambiente de Realidade Aumentada para Educação**. UNIMEP. Disponível em < http://www.unimep.br/phpg/posgraduacao/stricto/ccomp/Projetos%20de%20Pesquisa/Sistema_Complexo_Ambiente_Realidade_Aumentada_Educa.htm>. Acesso em 09/07/2006.

[Kiyokawa et al, 2002] Kiyokawa, K., Billinghurst, M., Hayes, S., Gupta, A., Sannohe, Y., Kato, H. (2002). **Communication Behaviors of Co-Located Users in Collaborative AR Interfaces**. Em *Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2002), 2002, Darmstadt, Germany*.

[Malbezin, 2002] Malbezin, B. H. T. P. P. (2002) **Measuring artoolkit accuracy in long distance tracking experiments**. Augmented Reality Toolkit Workshop.

[Minatel, 2005] Minatel, E. (2005). **Sistema Digital para Análise de Movimentos - SAM**. Disponível em: <http://educar.sc.usp.br/sam/>. Acesso em 07/06/2005.

[Modellus, 2006] Modellus. (2006) **Modellus: uma introdução visual com funções e movimentos.** Disponível em: <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/pub/modellus/umaintroducao visualaomodellus.pdf>. Acesso em 23/02/2006.

[Motta, 2002] Motta, P. R. E. (2002). **Realidade Aumentada Para Informações Geográficas**. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Uiversidade Católica do Rio Grande do Sul.

[Nunes, 2002] Nunes, C. (2002). **Uma Aplicação de Técnicas de Realidade Virtual Não-Imersiva no Processo Multidisciplinar de Educação**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia.

[Nunes, 2005] Nunes, C. (2005). **Eic-ra - Desenvolvimento de ambiente virtual com artoolkit para inclusão digital de crianças hospitalizadas**. WorkShop de Realidade Aumentada, pp. 27-32.

[Pantelidis, 1996] Pantelidis, V. S. (1996). **Suggestions on when to use and when not to use virtual reality in education**.

[Pereira, 2005] Pereira, R. S. (2005). **Realidade aumentada**. Disponível em: <http://www.alunos.di.uevora.pt/ l15635/trab2/inicio.html>. Acesso em 13/10/2005.

[Pinho, 2006] Pinho, M. S. (1996). **Realidade Virtual como ferramenta de Informática na Educação**. Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Belo Horizonte.

[Poupyrev et al, 2000] Poupyrev, I., Billighurst, M. Kato, H., May, R. (2000). **Integrating Real and Virtual Worlds in Shared Space**. *Proceedings of the 5th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 5th'00), Oita, Japan*.

[PROINF, 2006] PROINF (2006). **PROINF.** Disponível em: <http://www.uel.br/seed/nte/analisedesoftwares.html>. Acesso em 20/04/2006

[Providelo et al, 2004] Providelo, C., Debonzi, D., Gazziro, M., Queiroz, I., Saito, J., Kirner, C. **Ambiente Dedicado para Aplicações Educacionais Interativas com Realidade Misturada**. In: VII Simposium On Virtual Reality, SVR 2004, São Paulo.

[Prugmper, 1999] Prugmper, P. (1999). Test it: **ISONORM 9241/10**. In: H.-J. BULLINGER & J. ZIEGLER Eds. Proceedings of HCI International, Munich, 22-27 August 1999. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

[Sears et al, 1983] Sears M. W., Zemansky, H. D. Y. F. (1983). **Física: Mecânica da Partícula e dos Corpos Rígidos**.

[Silva, 2001] Silva, J. C. (2001). **Aprendizagem Mediada por Computador: Uma Proposta para Desenho Técnico Mecânico**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2001.

[Souza, 1997] Souza, Patrícia C. (2001) **S Ferramenta de Autoria para a Criação de Ambientes Construtivistas em Realidade Virtual.** In: VIII Simposio Brasileiro de Informatica na Educacao - SBIE'97, 1997, São José dos Campos, SP. Anais do VIII Simposio Brasileiro de Informatica na Educacao, 1997, pp. 331-349

[Watson, 1991] Watson, J. (1991). **Cooperative learning and computers: One way to address student differences**. The Computing Teache*r,* pp. 9-15.

[Zorzal et al, 2005] Zorzal A. A. B. Buccioli, C. K. E. R. (2005). **O Uso de Realidade Aumentada no Aprendizado Musical**. In: WARV 2005 - WorkShop de Aplicações de Realidade Virtual, Uberlândia, Minas Gerais.

ANEXO – I

AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE RA PARA MEDIÇÃO QUANTITATIVA DE MOVIMENTO

Avaliador: _____Data da avaliação: ___ / ___ / 2006

Nível: ( ) Graduação ( ) Ensino Médio

Instituição: _____

A - INFORMAÇÃO BÁSICAS

1 – Enumere as principais finalidades da utilização do computador. Descreva:

_____

_____

_____

2 - Você já desenvolveu experimento sobre a Segunda Lei de Newton utilizando o Trilho de Ar em um Laboratório de Física?

( ) Sim ( ) Não

B - SOBRE O SISTEMA

1. Quanto à finalidade:

( ) Muito útil ( ) Útil ( ) Pouco útil

2. Quanto à Interface do sistema com o usuário:

( ) Fácil entendimento

( ) Médio entendimento

( ) Difícil entendimento

3. Quanto à facilidade de uso:

( ) Muito intuitivo ( ) Intuitivo ( ) Pouco Intuitivo

Justificativa:

_____
_____
_____

4. Quanto aos recursos do Programa, a experiência proposta foi:

( ) Foi integralmente desenvolvida

( ) Não foi desenvolvida por completo

Justificativa:

_____
_____
_____

5. As informações apresentadas, usando RA, durante o experimento permitem:

( ) Conceber a experiência proposta

( ) Conceber parte da experiência proposta

( ) Não permitem conceber a experiência

6. Você conseguiu compreender o uso de RA no experimento?

( ) Sim ( ) Não ( ) Em parte

7. Você considera o uso da Realidade Aumentada ajudou na compreensão do experimento?

( ) Sim ( ) Não ( ) Em parte

8. O programa permitiu a aquisição de informações úteis durante a sua execução:

( ) Sim ( ) Não ( ) Em parte

Exemplifique:

_____
_____
_____
_____

Comentários ou sugestões adicionais

_____
_____
_____