

Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica



**Associando Realidade Virtual
não-imersiva e Ferramentas Cognitivas
para o Ensino de Física.**

Orientador: Alexandre Cardoso, Dr
Co-Orientadora: Elise B. Mendes, Dra
Orientando: Luciano Ferreira Silva

Janeiro
2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de Catalogação e Classificação

S586a Silva, Luciano Ferreira, 1982-
Associando realidade virtual não-imersiva e ferramentas cognitivas para o ensino de física / Luciano Ferreira Silva. - Uberlândia, 2006.
131f. : il.
Orientador: Alexandre Cardoso.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Inclui bibliografia.
1. Realidade virtual - Teses. 2. VRML (Linguagem de programação de computador) - Teses. 3. Física - Estudo e ensino (Segundo grau) - Teses. 4. Ensino a distância - Teses. I. Cardoso, Alexandre. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

CDU: 681.3 : 007.52

Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

**Associando Realidade Virtual
não-imersiva e Ferramentas Cognitivas para o
Ensino de Física.**

*Dissertação apresentada por Luciano Ferreira Silva à
Universidade Federal de Uberlândia para obtenção do
título de Mestre em Ciências, aprovada em 31/01/2006 pela
Banca Examinadora:*

Alexandre Cardoso, Dr (UFU) - Orientador
Elise B. Mendes, Dra (UFU) - Co-Orientadora
Edgard Lamounier Júnior, PhD (UFU)
Eduardo Kojy Takahashi, Dr (UFU)
José Remo Ferreira Brega, Dr (UNIVEM/UNESP)

**Associando Realidade Virtual
não-imersiva e Ferramentas Cognitivas para o
Ensino de Física.**

*Dissertação apresentada por Luciano Ferreira Silva à
Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos
para obtenção do título de Mestre em Ciências.*

Alexandre Cardoso, Dr
Orientador

Darizon A. Andrade, PhD
Coordenador

À minha mãe Lazara Maria Ferreira e ao meu pai Luziano Alves da Silva, pelos exemplos de respeito, honestidade e simplicidade, pelo carinho, dedicação e pelos fundamentais apoios. E a todos familiares e amigos que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por iluminar os meus caminhos nas minhas dificuldades e vitórias, fazendo-me ser sempre perseverante na busca dos meus ideais. E em seguida, a todos que contribuíram para a realização deste trabalho e, pela participação mais direta, sou especialmente grato:

Ao meu orientador, Professor Alexandre Cardoso, por sua amizade, dedicação, paciência e pela importante, competente e segura orientação prestada em todos os momentos da realização deste trabalho.

À minha co-orientadora, Professora Elise B. Mendes, por sua dedicação, valiosas sugestões e importantíssima exigência quanto à qualidade deste trabalho.

Ao Professor Edgard Lamounier Júnior, pela dedicação, apoio e sugestões.

Aos Professores Eduardo Kojy Takahaschi, Nikoleta kerinska e Silvia Martins, pelas excelentes sugestões, contribuições, apoio e dedicação oferecidos durante a execução desse trabalho multidisciplinar.

Aos alunos de Iniciação Científica componentes da equipe multidisciplinar, Sorandra, Dayane, Stephanie, Naira, Neiva, Lucas, Victor e Rodrigo, por seus esforços, dedicação e vasta contribuição para conclusão deste trabalho.

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

Aos meus pais e minha irmã Laís, por acreditarem em meu potencial incentivando, sempre, meus estudos.

À minha prima Núbia, por sua importante ajuda e dedicação em vários momentos de dificuldades passados por minha família e por sempre acreditar em minha capacidade.

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

Resumo

SILVA, Luciano F. *Associando realidade virtual não-imersiva e Ferramentas cognitivas para o ensino de Física*, Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica - UFU, 2005.

Palavras-Chave: Realidade Virtual, Ferramentas Cognitivas, Ensino de Física.

Essa dissertação apresenta uma proposta de integração de técnicas de Realidade Virtual e processos pedagógicos, com o objetivo de desenvolver, aplicar e avaliar, por meio de uma equipe multidisciplinar, um sistema computacional educacional direcionado para a aprendizagem de conceitos de Física no Ensino Médio.

Ao analisar alguns *softwares* recentes desenvolvidos para o ensino de Física (WebTop, FisicaNet, LVEF, Pintar e LVCE) constatou-se que estes possuem limitações em suas estruturas pedagógicas. Assim, visando suprir estas limitações pedagógicas, foi proposto o SEFIRV (Sistema de Experiências Físicas Instrucional em Realidade Virtual), composto por vinte e seis simulações virtuais alicerçadas em princípios construtivistas e interligadas conceitualmente por meio de ferramentas cognitivas.

Para tanto, foram desenvolvidos desenhos pedagógicos que possuem como objetivo incentivar a aprendizagem e desafiar os aprendizes. Com o intuito de eliminar a organização e distribuição linear e unidimensional dos conteúdos foi elaborado um conjunto de organizadores gráficos e mapas conceituais para proporcionar ao aluno a visualização do todo e das partes entre os conceitos, bem como a possibilidade de gerenciar a sua aprendizagem.

Em relação aos aspectos tecnológicos, utilizou-se Realidade Virtual (RV) não imersiva e a linguagem VRML (Virtual Reality Modeling Language) para a modelagem dos objetos tridimensionais e a linguagem JavaScript foi utilizada para animação dos Ambientes Virtuais e interação com o usuário.

A avaliação do SEFIRV limitou-se a verificar a usabilidade do sistema e a aprendizagem de conceitos físicos. Os resultados da avaliação foram satisfatórios, mostrando que o sistema contribui consideravelmente para o processo ensino/aprendizagem.

Abstract

SILVA, Luciano F. Associating non-immersive virtual reality and cognitive tools for Physics teaching, Uberlândia, University of Electric Engineering - UFU, 2005.

Key-words: Virtual reality, Cognitive Tools, Teaching of Physics.

This dissertation presents a proposal of integration of techniques of Virtual Reality and pedagogic processes, with the aim of developing, to apply and to evaluate, through a multidisciplinary team, a computational system education addressed for the teaching Physics in high school.

When analyzing some recent softwares developed for Physics teaching (WebTop, FisicaNet, LVEF, to Paint and LVCE) was verified that these possess limitations in their pedagogic structures. Thereby, seeking to supply these pedagogic limitations was proposed the SEFIRV (System of Physical Experiences Instructional in Virtual Reality) is composed by twenty-six virtual simulations within constructivist principles and conceptually interlinked through cognitive tools.

For so much, it was developed a pedagogical drawing to stimulate learning of the apprentices. With the intention of eliminating the linear organization and linear distribution and one-dimensional of the contents a group of Graphic Organizers and Conceptual Maps were elaborated to provide to the student a visualization of the whole and of the parts among the concepts, as well as, the possibility to manage the learning.

In relation to the technological aspects, non-immersive Virtual Reality (RV) was used, together with the VRML (Virtual Reality Modeling Language) language for the modeling of the three-dimensional objects and the JavaScript language for animation of the virtual atmospheres and interaction with the user.

The overview of SEFIRV was limited to verify the usability of the system and the learning of physical concepts. The results of the overview were satisfactory, showing that the system contributes considerably to the process teaching/learning.

Lista de Publicações

A seguir são apresentadas as publicações deste trabalho:

1. SILVA, Luciano Ferreira; CARDOSO, Alexandre; MENDES, Elise B; LAMOUNIER, Edgard. (2005). **Associando Ferramentas Cognitivas e Realidade Virtual não-imersiva para o Ensino de Física.** In: IADIS CONFERENCIA IBERO AMERICANA WWW/Internet, Lisboa.
2. SILVA, Luciano Ferreira; CARDOSO, Alexandre; MENDES, Elise B; LAMOUNIER, Edgard; TAKAHASHI, Eduardo Kojy. (2005). **O uso de Realidade Virtual não-imersiva como suporte para o Ensino de Física.** In: SBIE – SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, Juiz de Fora.
3. SILVA, Luciano Ferreira; CARDOSO, Alexandre; MENDES, Elise B; LAMOUNIER, Edgard; TAKAHASHI, Eduardo Kojy. (2005). **Um Protótipo de Ensino Virtual Orientado por Modelo Psico-Pedagógico.** In: WORKSHOP DE APLICAÇÕES DE REALIDADE VIRTUAL, Uberlândia.
4. SILVA, Luciano Ferreira; CARDOSO, Alexandre; MENDES, Elise B. (2004). **Pedagogical Design for Teaching Physics through Virtual Reality.** In INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING EDUCATION AND RESEARCH. Bouzov Castle, Olomouc: INEER.
5. SILVA, Luciano Ferreira; CARDOSO, Alexandre; MENDES, Elise B. (2004). **Um Protótipo de Ensino Virtual Orientado por Modelo Psico-Pedagógico.** In: CONGRESSO NACIONAL DE AMBIENTES DE HIPERMÍDIA PARA APRENDIZAGEM – CONAHPA, Florianópolis.
6. SILVA, Luciano Ferreira; CARDOSO, Alexandre. (2003). **Usando Diretivas Psico-Pedagógicas no desenvolvimento de Ambientes Virtuais para o Ensino de Física.** In: PROCEEDINGS OF SVR 2003 – VI SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, Ribeirão Preto.

Sumário

INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	5
TRABALHOS RELACIONADOS	7
2.1 INTRODUÇÃO	7
2.2 WEBTOP.....	7
2.3 FISICANET	8
2.4 LVEF – LABORATÓRIO VIRTUAL DE EXPERIÊNCIAS DE FÍSICA	10
2.5 PINTAR	11
2.6 LVCE – LABORATÓRIO VIRTUAL DE CIRCUITOS ELÉTRICOS	14
2.7 COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS ANALISADOS	14
2.7.1 <i>Ergonomia de Softwares</i>	15
2.7.2 <i>Quadro Comparativo</i>	16
2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	17
FUNDAMENTAÇÃO PEDAGÓGICA.....	19
3.1 INTRODUÇÃO	19
3.2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	19
3.3 FERRAMENTAS COGNITIVAS.....	21
3.3.1 <i>Organizadores Gráficos</i>	23
3.3.2 <i>Mapas Conceituais</i>	23

3.4	DESENHOS PEDAGÓGICOS DO SEFIRV	25
3.4.1	<i>Organizadores Gráficos</i>	26
3.4.2	<i>Experimentos Virtuais de Física</i>	30
3.4.3	<i>Mapas Conceituais</i>	30
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
	ARQUITETURA DO SISTEMA	35
4.1	INTRODUÇÃO	35
4.2	TECNOLOGIAS DE APOIO	35
4.2.1	<i>VRML e X3D</i>	35
4.2.2	<i>JavaScript</i>	38
4.3	DIAGRAMA DA ARQUITETURA DO SISTEMA	40
4.3.1	<i>Interface Gráfica com o Usuário – GUI</i>	42
4.3.2	<i>Bloco dos Organizadores Gráficos</i>	42
4.3.3	<i>Bloco das Experiências Físicas Virtuais</i>	45
4.3.4	<i>Blocos dos Mapas Conceituais</i>	70
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
	IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA	73
5.1	INTRODUÇÃO	73
5.2	IMPLEMENTAÇÃO DOS AMBIENTES VIRTUAIS	73
5.3	IMPLEMENTAÇÃO DOS MODELOS COMPORTAMENTAIS	76
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
	RESULTADOS E LIMITAÇÕES DO SISTEMA	83
6.1	INTRODUÇÃO	83
6.2	UTILIZAÇÃO DO SISTEMA	83

6.3	AVALIAÇÃO DO SISTEMA.....	84
6.3.1	<i>Questões sobre os usuários</i>	85
6.3.2	<i>Questões sobre o guia do usuário</i>	86
6.3.3	<i>Questões sobre os organizadores gráficos.....</i>	87
6.3.4	<i>Questões sobre os experimento físicos virtuais.....</i>	93
6.3.5	<i>Questões sobre os mapas virtuais</i>	98
6.4	TABELA COMPARATIVA.....	103
6.5	LIMITAÇÕES DO SISTEMA	104
6.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	104
	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	105
7.1	INTRODUÇÃO	105
7.2	CONCLUSÕES	105
7.3	TRABALHOS FUTUROS	107
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
	ANEXO.....	114

Lista de Figuras

Figura 2.1: Experimento do <i>software</i> WebTop	8
Figura 2.2: Simulação de Energia Potencial Gravitacional do FisicaNet.....	9
Figura 2.3: Simulação de Lentes e Espelhos Esféricos do FisicaNet.....	10
Figura 2.4: Construção do Experimento Virtual no LVEF	11
Figura 2.5: Ilustração do <i>Software</i> Pintar no módulo Óptica	13
Figura 2.6: Laboratório Virtual de Circuitos Elétricos.....	14
Figura 3.1: Exemplo de Organizador Gráfico	23
Figura 3.2: Hierarquia do Mapa Conceitual	24
Figura 3.3: Mapa conceitual do mapa conceitual	25
Figura 3.4: Organizador gráfico do SEFIRV - Parte I.....	27
Figura 3.5: Organizador gráfico do SEFIRV - Parte II	28
Figura 3.6: Organizador gráfico do SEFIRV - Parte III	29
Figura 3.7: Mapa conceitual do experimento de Queda Livre	30
Figura 3.8: Mapa conceitual do experimento de Movimento Curvilíneo Uniforme	31
Figura 3.9: Mapa conceitual do experimento de Colisão Elástica	31
Figura 3.10: Mapa conceitual do experimento de Sistema de Blocos das Leis de Newton	32
Figura 3.11: Mapa conceitual do experimento de Lançamento de Satélites da Gravitação	32
Figura 3.12: Mapa conceitual do experimento de Lançamento Oblíquo	33
Figura 3.13: Mapa conceitual do experimento de Empuxo da Hidrostática	33
Figura 4.1: Exemplo de um arquivo VRML	37
Figura 4.2: Objeto virtual com o código JavaScript.....	40
Figura 4.3: Arquitetura do Sistema	41

Figura 4.4: A visualização de conceitos anteriores	43
Figura 4.5: A visualização de conceitos posteriores.....	43
Figura 4.6: Progressão de conceitos	44
Figura 4.7: Conceitos e definições	44
Figura 4.8: Conceitos - Experiência ativada.....	45
Figura 4.9: Experiência do Movimento Retilíneo Uniforme.....	46
Figura 4.10: Placas de sinalização de Trânsito.....	47
Figura 4.11: Câmera externa.	48
Figura 4.12: Câmera aérea.....	49
Figura 4.13: Câmera interna.	49
Figura 4.14: Câmera em um ponto referencial.	50
Figura 4.15: Experiência de Queda Livre.....	50
Figura 4.16: Experiência de Lançamento Oblíquo.....	51
Figura 4.17: Experiência de Lançamento Horizontal.....	52
Figura 4.18: Experiência de Movimento Curvilíneo Uniforme	52
Figura 4.19: Experiência de Sistema de Blocos	53
Figura 4.20: Experiência de Equilíbrio de um Corpo Rígido.....	54
Figura 4.21: Experiência de Lançamento de Satélites.....	55
Figura 4.22: Experiência de Empuxo	55
Figura 4.23: Experiência de Conservação da Quantidade de Movimento	56
Figura 4.24: Experiência de Colisões Elásticas, exterior.	57
Figura 4.25: Experiência de Colisões Elásticas.....	57
Figura 4.26: Experiência de Colisão Completamente Inelástica.....	58
Figura 4.27: Experiência da Conservação da Quantidade de Energia.....	58
Figura 4.28: Experiência de Dilatação de Sólidos.....	59

Figura 4.29: Experiência de Comportamento dos Gases.....	60
Figura 4.30: Experiência de Transferência de Calor e Mudança de Fases.....	61
Figura 4.31: Experiência de Espelhos Planos.....	61
Figura 4.32: Experiência de Espelhos Esféricos	62
Figura 4.33: Experiência de Lentes Esféricas	63
Figura 4.34: Experiência de Pêndulo Simples.....	63
Figura 4.35: Experiência de Ondas em Cordas	64
Figura 4.36: Experiência de Campo e Potencial Elétrico.....	65
Figura 4.37: Experiência de Associação de Resistências	65
Figura 4.38: Experiência de Associação de Capacitores.....	66
Figura 4.39: Experiência de Campo Magnético	67
Figura 4.40: Experiência de Conservação da Quantidade de Energia / Painel de Controle.....	67
Figura 4.41: Exemplo de Painel de Controle.....	68
Figura 4.42: Exemplo de objeto virtual - Trem de Ferro	70
Figura 4.43: Tecla “Tutorial” no experimento de Lançamento Oblíquo.....	71
Figura 4.44: Sistema de <i>hyperlinks</i> da experiência MRUV	72
Figura 5.1: Objeto criado por extrusão Fechado	74
Figura 5.2: Secção da Extrusão	74
Figura 5.3: Objeto criado por extrusão Aberto.....	74
Figura 5.4: Extrusão de superfícies curvas.....	75
Figura 5.5: Funções ligadas a objetos virtuais.....	77
Figura 5.6: Acelerando e freando no Ambiente Virtual do MRUV	79
Figura 6.1: Página de Abertura do SEFIRV	84

Lista de Abreviaturas

API – Application Programming Interface

ASCII – American Standard Code for Information Interchange

AV – Ambiente Virtual

GUI – Graphics User Interface

INEP – Instituto Nacional de Estudo e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira

LVCE – Laboratório Virtual de Circuitos Elétricos

LVEF – Laboratório Virtual de Experiências Físicas

MCU – Movimento Circular Uniforme

MRU – Movimento Retilíneo Uniforme

MRUV – Movimento Retilíneo Uniformemente Variado

PCNEM – Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio

RV – Realidade Virtual

SEFIRV – Sistema de Experiências Físicas Instrucional em Realidade Virtual

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

VRML – Virtual Reality Modeling Language

WWW – World Wide Web

XML – Extensible Markup Language

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

A nova era das tecnologias da informação e do capital intelectual exige uma mudança profunda na organização, nas teorias curriculares e metodologias de ensino das escolas [Sacardamalia and Bereiter, 2000].

Nos anos 90, devido à velocidade dos sistemas de comunicações e ao volume de informações produzido pelas tecnologias da informação, tornaram-se superados os parâmetros da formação do cidadão das décadas de 60 e 70. Hoje, não se trata mais de adquirir “know-how” e acumular informações, porque a formação humanitária do educando, a alfabetização científica e tecnológica, o aprender a aprender são finalidades prioritárias para a formação dos cidadãos [Burgen and Härnqvist, 1997], [American Association for the Advancement of Science - Project 2061, 2001].

Consoante às mudanças mundiais, o Brasil, por meio do Ministério da Educação, criou as bases legais dos novos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) em 1999, com o objetivo de superar a extrema desvantagem em relação ao índice de escolarização e ao nível de conhecimento dos países desenvolvidos. Desse modo, a Secretaria de Educação Média e Tecnológica do Brasil estabeleceu especial ênfase ao ensino da ciência. Através de sua diretoria está sendo implementado um Plano de Educação para a Ciência que visa incorporar a prática e a reflexão científicas na vida escolar e social de adolescentes. Como objetivos específicos destacam-se o incentivo a projetos curriculares direcionados para a educação científica e mudanças curriculares que incorporem abordagens práticas e problematizadoras das ciências, e assim como a produção e distribuição de livros e materiais didáticos de ciências.

Com relação ao ensino de Física, em levantamento realizado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira [INEP, 2002], foi detectado um déficit de 48015 professores, em 2001. Preocupado com esses dados, a Secretaria de Educação Básica elaborou as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores [CNE, 2002], que têm como objetivo, entre outros, elaborar e executar projetos de desenvolvimento dos conteúdos curriculares que apliquem tecnologias da informação, estratégias e materiais de apoio inovadores, visando à melhoria do processo ensino-aprendizagem. Entre as diretrizes curriculares nacionais para o Ensino Médio destacam-se a contextualização e interdisciplinaridade como princípios para estimular a aprendizagem. Esses princípios sugerem abordagens teórico-metodológicas que articulem teoria e prática no ensino dos conceitos científicos.

Entretanto, notam-se, na escola brasileira, escassos recursos didáticos e a inexistência de laboratórios para o ensino de ciências, como por exemplo, a falta de laboratórios de Física no Ensino Médio. Desse modo, é necessário procurar soluções pedagógico-didáticas, consoantes com as necessidades da sociedade contemporânea, que contribuam para a diminuição dos problemas apresentados no ensino brasileiro.

Uma proposta de solução seria a aplicação dos recursos computacionais direcionados para o desenvolvimento de *softwares* de apoio ao ensino de conceitos de Física. Entre as categorias de *softwares* que oferecem ao usuário ferramentas para manipular representações conceituais e melhorar a compreensão desses processos, encontram-se simulações, sistemas de Realidade Virtual, micromundos, mapas conceituais e estações de trabalho (Workbenches) [Collis, 2002].

Segundo Latta (1994), Realidade Virtual (RV) é uma avançada interface-homem máquina que simula um ambiente realístico, permitindo que os participantes interajam com ele. Pimentel (1995) complementa definindo RV como o uso de alta tecnologia para convencer o usuário de que ele está em outra realidade.

Em geral, o termo Realidade Virtual refere-se a uma tecnologia em que estão sendo agrupados meios através dos quais o usuário pode livremente visualizar, explorar/manipular e interagir com dados complexos em tempo real. Agrupando-se

alguns outros conceitos, pode-se dizer que Realidade Virtual é uma técnica avançada de interface, em que o usuário pode realizar imersão (sensação de estar dentro do ambiente), navegação e interação em um ambiente tridimensional gerado por computador. [Pinho, 1998]

A RV permite que os conceitos científicos possam ser aprendidos de forma concreta. Esta característica é consoante com os métodos construtivistas de ensino que estabelecem a necessidade da aprendizagem pela experiência; neste caso, experiência com objetos virtuais que podem ser observados, explorados e descobertos.

Portanto, as simulações em RV diferem de outros *softwares* em termos de: exploração pelo usuário de um domínio conceitual, número de objetos que podem ser manipulados, detalhes e a fidelidade das simulações. Como Pinho (1998) demonstra, a potencialidade da RV, referente à capacidade de retenção e de compreensão de informações, relaciona-se com o fato de permitir a exploração de ambientes, processos ou objetos, não por meio de livros, fotos, filmes ou aulas, mas mediante a manipulação e a análise do próprio alvo de estudo. O processo psicológico que torna ativa a imersão da RV é muito semelhante ao modo como as pessoas adquirem conhecimento, isto é, por meio da interação com objetos e eventos no mundo real [William Winn, 1993].

Como afirmam Barros e Kelner (2003) as razões para utilizar RV na Educação são diversas, destacando-se a maior motivação do usuário, pois RV é uma forma como a qual as pessoas visualizam, manipulam e interagem com computadores e dados extremamente complexos [Burdea and Coiffet, 1994], [Kirner, 2004]. Além disso, a RV possibilita a criação de Ambientes Virtuais interativos e intuitivos, proporcionando a manipulação direta de seus objetos que respondem às ações do usuário, estimulando sua participação ativa.

Com o surgimento da rede mundial de computadores, a Internet, surgiram novas formas de aprendizagem como a Educação a Distância. Neste âmbito, a RV destaca-se por possibilitar a criação de Ambientes Virtuais que podem ser compartilhados via Web. Neste caso, pode-se usar o VRML (Virtual Reality Modeling Language) [Ames et al., 1997], uma linguagem de modelagem 3D que gera arquivos pequenos, com baixo custo de transmissão e armazenamento.

Autores contemporâneos definem desenho pedagógico como um novo horizonte conceitual do ensino, da aprendizagem e dos suportes de aprendizagem. O termo desenho pedagógico refere-se a qualquer escolha sistemática e ao uso de procedimentos, métodos, prescrições e mecanismos numa ordem que proporcione aprendizagem efetiva, eficiente e produtiva [Lowyck apud Mendes, 2002]. Qualquer atividade de desenho pedagógico resulta em um plano ou cenário que define o formato, os conteúdos, a estrutura do ambiente, os sistemas de distribuição e as estratégias de execução. Com o crescimento de ambientes eletrônicos de aprendizagem, essas definições certamente necessitam de algumas adaptações.

Inúmeros estudos relatam a criação de *softwares* educacionais de simulações de fenômenos difíceis de serem realizados em sala de aula, e que não são fundamentados em desenhos pedagógicos. Conseqüentemente, não estimulam processos ativos de aprendizagem [Good and Berger, 1997].

Ao encerrar as anotações sobre a relevância da RV, concluiu-se que a motivação para esta pesquisa está relacionada aos seguintes fatores:

- carência de professores qualificados e laboratórios para o ensino de Física;
- alto custo para a construção e manutenção de laboratórios de ensino de Física;
- carência de projetos multidisciplinares para desenvolvimento de *softwares* educacionais;
- carência de modelos pedagógicos nos *softwares* de ensino existentes;
- processo de inclusão digital;
- facilidade de acesso ao *software*, podendo ocorrer de forma presencial e/ou via rede eletrônica.

1.2 Objetivos

Essa pesquisa teve como objetivos investigar técnicas computacionais, associadas a metodologias pedagógicas que visem desenvolver, aplicar e avaliar um *software* para o ensino de Física que esteja direcionado ao Ensino Médio e

fundamentado em desenhos pedagógicos contemporâneos. Além disso, este *software* deverá oferecer suporte ao ensino presencial e/ou a distância. Para atingir tal objetivo foram definidas as seguintes metas:

- analisar *softwares* educacionais atuais para o ensino de Física, avaliando suas vantagens e limitações;
- investigar técnicas de Realidade Virtual, visando criar uma ergonomia de interface para o *software* que possibilite a fácil manipulação de seus objetos virtuais, como também, o fácil acesso aos ambientes de aprendizagem;
- elaborar o Desenho Pedagógico do *software* de ensino de Física, fundamentado em modelos cognitivos construtivistas;
- elaborar uma arquitetura de um sistema voltado para o ensino que permita ao usuário estabelecer uma conexão conceitual entre o mundo real e o sistema;
- desenvolver o *software* educacional, denominado SEFIRV – Sistema de Experiências Físicas Instrucional em Realidade Virtual, constituído de um amplo conjunto de experimentos desenvolvidos com o uso de RV;
- elaborar estratégias de representação do mundo real em experimentos que se relacionam com o conteúdo da Física no Ensino Médio;
- aplicar e avaliar o SEFIRV de forma sistemática, por meio de grupos de controle, utilizando laboratórios de informática das escolas e da UFU - Universidade Federal de Uberlândia e aplicando metodologias de ensino coerente com os modelos pedagógicos do *software*.

1.3 Organização da Dissertação

Por questões operacionais, este estudo foi dividido em sete capítulos, a saber:

No Capítulo 1, ou seja, na Introdução estão registradas as considerações iniciais sobre a importância da RV, assim como a motivação e os objetivos dessa pesquisa e a organização da dissertação.

No Capítulo 2 discute-se o estado atual dos *softwares* educacionais relacionados à Física da grade curricular do Ensino Médio, mostrando suas vantagens e limitações.

O Capítulo 3 são abordados o desenho e a fundamentação pedagógica dos ambientes de aprendizagem.

O Capítulo 4 aborda as características mais importantes das tecnologias de apoio (VRML e JavaScript) e descreve a arquitetura do sistema.

O Capítulo 5 apresenta técnicas utilizadas para implementação do sistema, assim como alguns trechos do código demonstrando esta implementação.

O Capítulo 6 apresenta a descrição geral do *software* e suas limitações, o funcionamento do sistema de navegação, e ainda os resultados obtidos por meio das avaliações de usuários em potenciais, em relação à ergonomia de interface, ao desenho pedagógico, à necessidade de aplicações de metodologias de ensino pertinentes ao modelo pedagógico e ao desenvolvimento da aprendizagem significativa.

O Capítulo 7 apresenta as conclusões alcançadas ao longo da pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros. Finalmente, estão registradas as referências bibliográficas utilizadas durante a pesquisa.

Capítulo 2

Trabalhos Relacionados

2.1 Introdução

Com o objetivo de avaliar as potencialidades dos *softwares* recentes desenvolvidos para o ensino de Física foram analisados alguns trabalhos, procurando ressaltar os processos de interações propostos, as estruturas pedagógicas e limitações.

2.2 WebTop

Com o intuito de ensinar Óptica, a University of State Mississippi criou a ferramenta WebTOP (2005), totalmente desenvolvida em VRML e Java. O sistema é composto por dezesseis módulos diferentes, envolvendo ondas, ótica geométrica, reflexão e refração, polarização, interferência, difração, distribuídos em oito áreas da Óptica. Cada módulo possui simulações computacionais interativas, animadas e em 3D para apresentação de fenômenos físicos, sendo utilizados *applets*¹ Java para controlar interações do usuário com os ambientes de experimento.

Juntamente com cada simulação, o WebTop propõe uma seção sobre a teoria envolvida no fenômeno em estudo, uma seção sobre como operar a simulação, e uma seção com exercícios sugeridos.

O WebTop foi desenvolvido para auxiliar professores e alunos, sendo seus experimentos voltados para estudantes universitários nivelados do curso de Física ou áreas afins. Durante quatro anos, a universidade utilizou o WebTop para ensinar Óptica em suas instalações, atualmente ele está sendo usado nacional e

¹ *Applets* são pequenos programas construídos em Java. Podem ser executados dentro de um navegador do cliente quando a página é acessada. Estes pequenos programas podem executar tarefas de controle de acesso, efeitos gráficos e segurança, como por exemplo, a criptografia. O nome *Applet* tem uma alusão à palavra *application* do inglês [Escola Vésper, 2005].

internacionalmente em inúmeras outras universidades. A Figura 2.1 apresenta uma tela típica de um experimento do *software* WebTop.

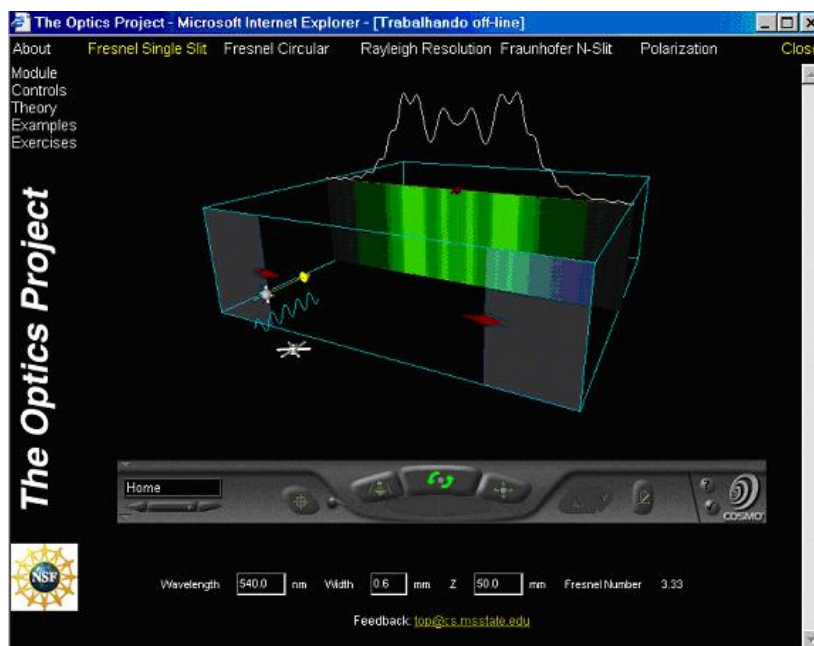


Figura 2.1: Experimento do *software* WebTop
Fonte: [WebTop, 2005].

Uma das limitações observadas no WebTop refere-se ao seu desenho pedagógico, voltado exclusivamente para alunos com conhecimentos aprofundados em Óptica. A estrutura pedagógica desta ferramenta não permite ao usuário gerenciar e organizar a informação em busca da compreensão dos conceitos e de suas definições relacionadas ao fenômeno. O WebTop permite apenas acessar textos explicativos sobre os fenômenos do experimento em execução.

2.3 FisicaNet

O sistema FisicaNet (2005) possui um conjunto de simulações, no formato *applet* Java, de diferentes conteúdos de Física do Ensino Médio (Mecânica, Movimentos Ondulatórios, Óptica, etc). As simulações do FisicaNet são interativas, o usuário pode inserir dados no experimento e observar as reações que o cenário responde. Estas reações podem ser observadas apenas no comportamento dos objetos de cena, pois o sistema não apresenta respostas numéricas ao usuário. Este aspecto é uma das limitações do sistema; Em laboratórios e experimentação, o estudante necessita

correlacionar os dados de entrada com os resultados, a fim de entender as equações dos fenômenos da Física.

A Figura 2.2 apresenta um exemplo de simulação do FisicaNet referente ao conteúdo Energia Potencial Gravitacional, da Mecânica. Neste experimento o usuário observa uma prancha lançar um objeto, com gravidade fixa de $9,81 \text{ m/s}^2$, sendo possível a seleção da massa e a energia potencial gravitacional deste objeto. Também pode-se escolher a porcentagem de transferência de energia a cada colisão do objeto.

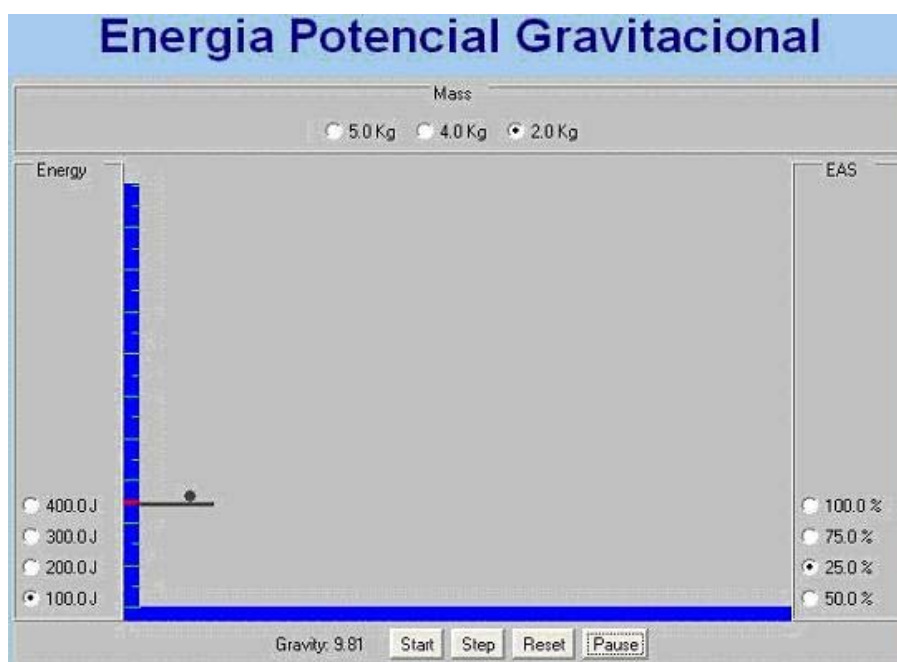


Figura 2.2: Simulação de Energia Potencial Gravitacional do FisicaNet
Fonte: [FisicaNet, 2005].

As simulações do FisicaNet não são modeladas de forma realística, a grande maioria está em apenas duas dimensões (2D), o que prejudica a associação do experimento com o conhecimento do usuário sobre o real.

Observa-se que o FisicaNet utiliza fortemente em suas simulações símbolos que não se relacionam com conceitos e suas definições, como também o usuário não tem acesso às notações que representam o fenômeno. Como, por exemplo, a simulação de lentes e espelhos esféricos, da Óptica, ilustrada na Figura 2.3. O experimento apresenta campos de entrada de dados representados pelas letras **p**, **q**, **f** e **M**. O FisicaNet não possibilita ao usuário associar estas letras aos conceitos e às definições do conteúdo abordado nesta simulação.

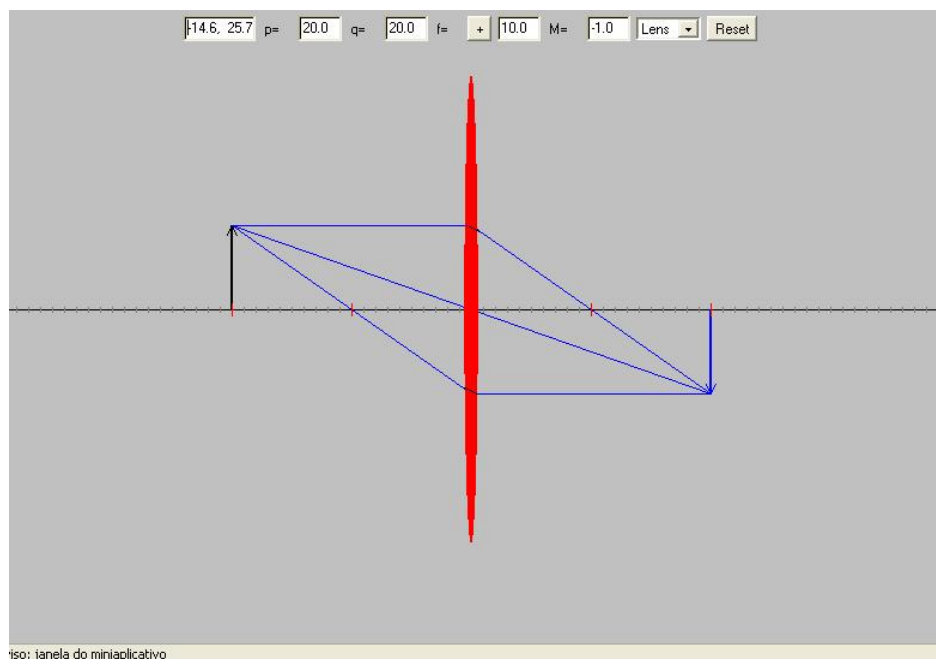


Figura 2.3: Simulação de Lentes e Espelhos Esféricos do FisicaNet
Fonte: [FisicaNet, 2005].

Não é possível observar uma estrutura pedagógica no FisicaNet, pois suas simulações estão dispostas de forma desconexa, existindo apenas textos explicativos, no formato hipertexto, sobre a simulação em que está sendo executada.

2.4 LVEF – Laboratório Virtual de Experiências de Física

O LVEF [Cardoso, 2002] consiste em um sistema de experimentos de Mecânica Clássica² que permite ao usuário criar seu próprio experimento, utilizando objetos virtuais de uma biblioteca predefinida. Os Ambientes Virtuais foram construídos em VRML e JavaScript, sendo utilizados *applets* Java para realizar a interação do usuário com o ambiente virtual. Inicialmente o cenário virtual encontra-se sem objetos, o usuário escolhe cada objeto de acordo com o experimento que deseja realizar. Na Figura 2.4 pode-se observar o cenário do experimento virtual sendo montado pelo usuário.

² Mecânica Clássica é a ciência que investiga os movimentos e as forças que os provocam, baseando-se nas leis de Newton; mecânica newtoniana [Alvarenga and Máximo, 2000].

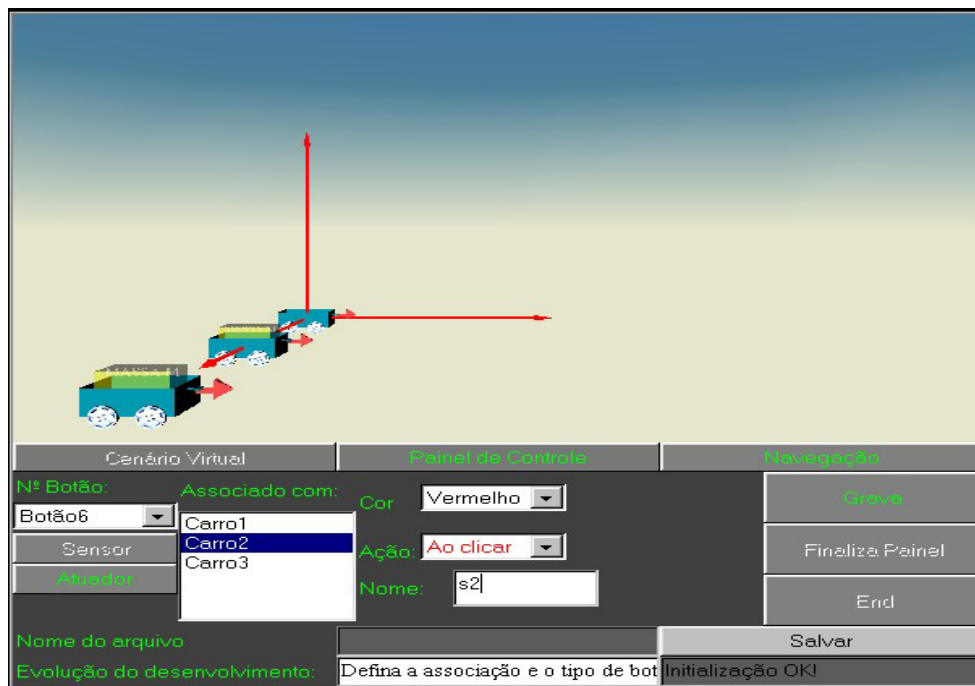


Figura 2.4: Construção do Experimento Virtual no LVEF
Fonte: [Cardoso, 2002].

O LVEF é um sistema próprio para o ensino direcionado porque não possui uma estrutura pedagógica que permite aos alunos, sem intervenção de professores, a construção de seu próprio conhecimento. Uma limitação observada no LVEF refere-se ao número reduzido de objetos disponíveis na biblioteca do cenário virtual, o que restringe a variedade de experimentos a serem construídos.

2.5 Pintar

O Laboratório Virtual Pintar [Pintar, 2005] consiste em um *software* direcionado para o ensino de Física no Ensino Médio. Está acessível gratuitamente, via Internet, uma versão limitada deste *software* que não agrega todos seus aplicativos.

O Pintar é um conjunto composto de nove aplicativos totalmente individuais destinados a simulações de experimentos, nas áreas de Física, Química e Matemática do Ensino Médio, dispostas em três módulos:

- **Física:** Eletricidade, Eletrônica, Mecânica, Ondas, Ótica e Sons;
- **Matemática:** Geometria e Funções;
- **Química:** Moléculas.

O módulo de Mecânica trabalha com a Mecânica Clássica, dispondo de diversos materiais como massas, molas, polias, etc. As propriedades de cada objeto podem ser alteradas conforme necessário. O Pintar permite observar gráficos e vetores em cada objeto existente e realizar comparações quadro a quadro.

Em Eletricidade o usuário pode criar experimentos conectando componentes elétricos tais como baterias, interruptores, lâmpadas, resistores, voltímetros, relês, amperímetros e outros. As propriedades de cada componente podem ser alteradas quantas vezes se desejar.

No módulo de Ondas pode-se escolher um tipo de onda, plana ou esférica ou até mesmo ambas, juntamente com outros objetos e realizar alterações no comprimento, na frequência, na amplitude, no período e na velocidade desta onda. O *software* permite testar fenômenos como a difração, o princípio de Huygens, a interferência, a reflexão e a refração, através de diferentes meios atingindo diferentes objetos.

Em Óptica o *software* permite o teste de fenômenos relacionados à luz (reflexão, refração e difração) e à visão (correção de deficiências visuais, como a miopia e a hipermetropia), podendo-se utilizar objetos como lentes, prismas, espelhos e filtros.

Observa-se que a grande maioria dos experimentos possui uma interface bidimensional, como apresentado na Figura 2.5, que ilustra uma simulação em Óptica utilizando lentes convexas.

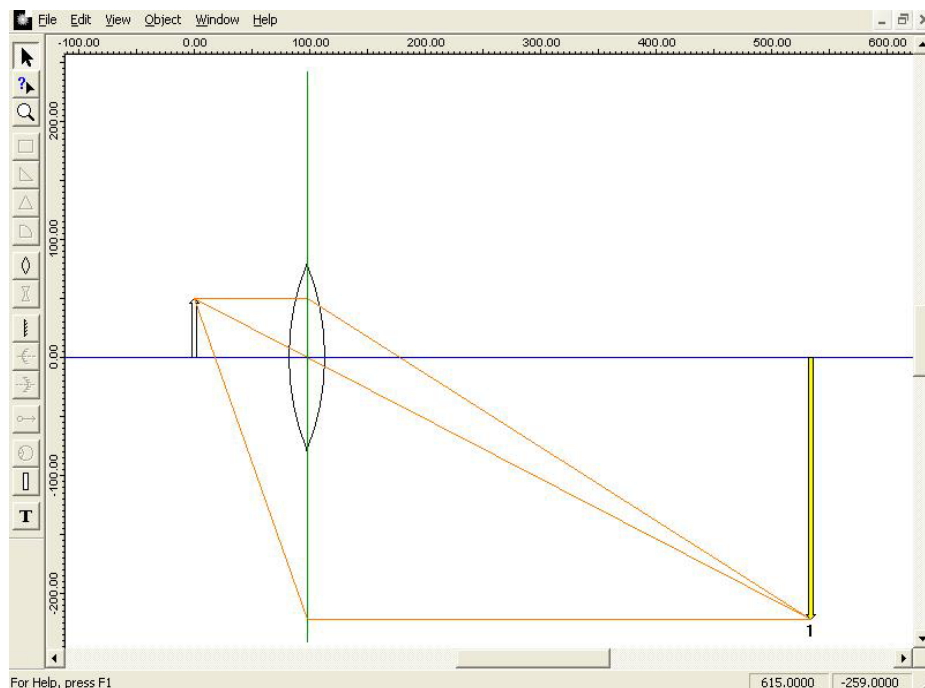


Figura 2.5: Ilustração do *Software Pintar* no módulo Óptica
Fonte: [Pintar, 2005].

A proposta do Pintar 2005 visa atingir professores e alunos da seguinte forma:

- Os **professores** podem usar os programas para demonstrar problemas que antes só eram ilustrados de forma estática em livros.
- Os **alunos** podem fazer prognósticos, executar experimentos, testar cenários alternativos e hipotéticos e ver os resultados de forma imediata.

O *software* Pintar propõe-se a estimular a aprendizagem através da experimentação por meio do princípio construtivista "aprender fazendo", para que os alunos aprendam de forma mais efetiva se estão ativamente envolvidos com a criação de um material de aprendizagem significativo. Porém, a estrutura pedagógica do Pintar não estimula o usuário a realizar a aprendizagem dos conceitos envolvidos na simulação. O aprendiz deve possuir todos os conhecimentos prévios para construir e compreender o experimento e associar o modelo comportamental do sistema ao conteúdo estudado. Assim, este processo não exige uma ação metacognitiva do aprendiz.

2.6 LVCE – Laboratório Virtual de Circuitos Elétricos

O LVCE [Nakamoto P., 2005] é um sistema que simula um ambiente virtual de experimentos físicos de eletrodinâmica. O seu cenário virtual consiste em um laboratório virtual que permite realizar experimentos de circuito elétrico, como ilustra a Figura 2.6. O laboratório por uma placa de circuitos, um conjunto de resistores, baterias e um multímetro. O usuário pode manipular os objetos virtuais e realizar medições para verificar o resultado do experimento.



Figura 2.6: Laboratório Virtual de Circuitos Elétricos
Fonte: [Nakamoto P., 2005]

Como tutorial de aprendizagem o LVCE utilizou um mapa conceitual referente à eletrodinâmica. No entanto, o sistema não faz relação entre os conceitos e suas equações matemáticas do fenômeno físico.

2.7 Comparação dos Sistemas Analisados

Para melhor visualizar as diferenças e as similaridades dos sistemas analisados foi construído um quadro comparativo com características importantes para um *software* voltado à aprendizagem. Tais características foram ressaltadas com base na ciência de Ergonomia de *softwares* para análises de interfaces e com base em diretrizes do programa PROINFO – Programa de Informática na Educação, para análises de processos pedagógicos [PROINF, 2006].

2.7.1 Ergonomia de Softwares

A interface de um *software* destina-se a interar o usuário com o sistema computacional, segundo definição de Scapin apud Sperandio (1993). Ela é considerada como concernente a todos os aspectos dos sistemas informáticos que influenciam a participação do usuário nas tarefas informatizadas. É necessário ressaltar que esta não se refere somente aos aspectos gráficos da camada imediatamente visível pelo usuário na tela do computador, mas também (e inclusive) aos objetivos de interação e ao próprio usuário.

Coutaz (1990), em uma outra definição, considera a interface como um dispositivo que serve de limite comum a duas entidades comunicantes, exprimindo-se por uma linguagem específica (sinal elétrico, movimento, linguagem natural). Além de assegurar a conexão física, o sistema deve permitir a tradução de uma linguagem (formalismo) para outra (o). No caso da Interface Homem-Computador (IHC), trata-se de fazer a conexão entre a imagem externa do sistema e o sistema sensório-motor e cognitivo do homem.

De forma mais completa, Galvis (1992) define a interface como a zona de comunicação em que se realiza a interação entre o usuário e o programa. Nela estão contidos os tipos de mensagens compreensíveis pelos usuários (verbais, icônicas, pictóricas ou sonoras) e pelo programa (verbais, gráficas, sinais elétricos e outras), os dispositivos de entrada e saída de dados que estão disponíveis para a troca de mensagens (teclado, mouse, tela do monitor, microfone) e ainda as zonas de comunicação habilitadas em cada dispositivo (as teclas no teclado, os menus no monitor, barras de tarefas, área de trabalho).

Como a quantidade de usuários leigos em conhecimentos de informática é crescente, diferentemente dos usuários com experiência, as dificuldades na interação com as máquinas apresentam-se evidentes. Estas dificuldades são geralmente provenientes da falta de experiência, das diferenças individuais e das funções cognitivas exigidas na tarefa de interação, forçando, assim, o desenvolvimento de interfaces cada vez mais amigáveis. [Ribeiro C., 1998]

A ergonomia busca a melhoria das condições de trabalho e seu objetivo é a adaptação do trabalho ao homem. Segundo Wisner (1987), a ergonomia pode ser definida como a utilização de conhecimentos científicos relativos ao homem e necessários para conceber ferramentas, máquinas e dispositivos que possam ser utilizados com o máximo de conforto, de segurança e eficácia pelo maior número de pessoas.

Wisner apud Sperandio (1988) definiu a ergonomia de *software* como um caso particular de adaptação do trabalho ao homem: a adaptação do sistema informático à inteligência humana. Esta adaptação à inteligência começa com a adequação da ferramenta à representação do usuário.

A ergonomia de *softwares* visa favorecer a adequação dos *softwares*, particularmente das interfaces, às tarefas e objetivos de interação do usuário, o que corresponde, em termos práticos, à capacidade do *software* em "permitir" ao usuário, atingir facilmente seus objetivos. Para tanto, a ergonomia de *softwares* realiza estudos em sistemas de informática, destacando-se:

- a utilidade, que determina se o sistema atende as necessidades funcionais e operacionais;
- a usabilidade, que determina a facilidade de uso;
- a utilizabilidade (usabilidade + utilidade), que segundo Senach (1993), diz respeito à facilidade de aprendizagem e de utilização.

2.7.2 Quadro Comparativo

Com base nas definições e conceitos descritos acima construiu-se um quadro comparativo dos sistemas analisados, o qual está representado na Tabela 2.1. Os itens comparados são: se as interfaces dos sistemas foram construídas em duas ou três dimensões; se os sistemas permitem a manipulação direta de seus componentes; se os objetos de aprendizagem foram modelados de forma realística, permitindo a associação destes com o cotidiano do usuário; se os sistemas apresentam os resultados dos experimentos de forma numérica, facilitando a compreensão dos fenômenos

físicos; se o *softwares* realizam experimentos de toda a grade curricular do Ensino Médio; se os sistemas apresentam tutoriais de ajuda que auxiliem no ensino/aprendizado do conteúdo estudado; se existem ferramentas cognitivas para facilitar a compreensão de conceitos; e se os *softwares* apresentam desenhos pedagógicos para direcionar a aprendizagem.

Tabela 2.1: Quadro Comparativo

	WebTop	FisicaNet	LVEF	Pintar	LVCE
2D		✓		✓	
3D	✓		✓		✓
Manipulação direta	✓		✓	✓	✓
Modelagem realística	✓		✓		✓
Apresentação dos resultados dos experimentos	✓			✓	✓
Conteúdo completo de Física do Ensino Médio		✓		✓	
Presença de tutoriais de ajuda conceitual					✓
Presença de ferramentas cognitiva					✓
Presença de desenhos pedagógicos					

2.8 Considerações Finais

Após comparar e analisar cuidadosamente os sistemas acima foram observadas diferentes características em suas arquiteturas. Por exemplo, o WebTop trabalha com Óptica, o LVEF com Mecânica, o Pintar e o FisicaNet abordam todo o conteúdo de Física do Ensino Médio.

Ao analisar como a modelagem dos cenários de aprendizagem de cada *software* foi realizada, observa-se que o WebTop possui uma modelagem realística, mas voltada para alunos com conhecimentos prévios em Óptica. O LVEF, em apenas alguns momentos apresenta uma modelagem realística de seus objetos virtuais. O *software*

Pintar e o FisicaNet não possuem modelagem realística, apresentando interface em duas dimensões (2D).

Analisando a estrutura pedagógica de cada *software* observa-se que no máximo eles oferecem textos explicativos sobre o conteúdo abordado em seus experimentos e não se percebe o uso de qualquer tipo de ferramenta cognitiva para intermediar e facilitar os processos cognitivos do aprendiz.

Tomando como referência as informações citadas, verifica-se a necessidade de desenvolver um sistema multidisciplinar com ambientes de aprendizagem interativos e realísticos. O sistema deve apoiar-se também em propostas pedagógicas (Capítulo 3), facilitando a criação de ambientes contextualizados que conduzam a aprendizagem dos conceitos abordados nos experimentos.

Capítulo 3

Fundamentação Pedagógica

3.1 Introdução

Como se sabe, as tecnologias não intervêm diretamente a aprendizagem [Jonassen, 1992 apud Mendes, 2002]. As pessoas não aprendem por meio de computador, livros, vídeos ou outros instrumentos que foram desenvolvidos para transmitir a informação. A aprendizagem é mediada pelo pensamento (processo mental), o pensamento é estimulado pelas atividades de aprendizagem, e a aprendizagem é ativada pelo processo de intervenção educacional, incluindo-se as tecnologias.

Dessa forma, ao se pensar no desenvolvimento de tecnologias para complementar e estender a mente humana, encorajando o processo e a potencialidade para gerar a informação e ativando o processo de construção do conhecimento, devem-se criar ferramentas que apresentem uma estrutura e funcionamento embasados em modelos ativos da mente. Nesta perspectiva, é necessário elaborar uma arquitetura pedagógica, para o desenvolvimento de *software* que ofereça suporte ao processo ensino e aprendizagem, fundamentado em teorias cognitivas e instrucionais.

Para tanto, esta pesquisa fundamentou-se nas teorias de aprendizagem significativa de Ausubel e Novak [Ausubel et al, 1984] e nos modelos de ferramentas cognitivas para o desenvolvimento de uma arquitetura dos ambientes de aprendizagem, bem como para a criação de estratégias e procedimentos instrucionais.

3.2 Aprendizagem Significativa

Aprendizagem significativa é o principal conceito da teoria de Ausubel, Novak e Hanassen (1984). Esses teóricos consideram que a aprendizagem da nova informação

inicia-se com as observações de acontecimentos ou objetos, e da interação dessa nova informação com os conceitos que as pessoas já possuem em sua estrutura cognitiva.

Por acontecimento entende-se qualquer elemento ou fenômeno que acontece ou podem ser forçados a acontecer, e por objeto pretende-se traduzir algo que existe e que pode ser observado. Salienta-se que a construção do conhecimento pode envolver tanto os acontecimentos ou objetos de ocorrência natural, como os acontecimentos ou objetos construídos pelo homem.

Conceitos são definidos como regularidade nos acontecimentos ou nos objetos que se designam por um certo termo [Ausubel et al, 1984]. Por exemplo “cadeira” é o termo da língua portuguesa usado para designar um objeto que possui pernas, um assento e costas, e “vento” é o termo usado para o acontecimento que envolve o ar em movimento. Os conceitos e as relações proposicionais entre os conceitos são os elementos centrais na estrutura do conhecimento e na construção de significados, isso porque o processo de dar significado ao mundo só é possível pela atividade do pensar, e pensar “envolve conceitos: formá-los e relacioná-los entre si”. [Glaserfeld, 1995].

Para Ausubel (1963), a aprendizagem significativa é o mecanismo humano, por excelência, para adquirir e armazenar a vasta quantidade de conceitos, idéias e proposições representadas em qualquer campo de conhecimento. Esse processo de aprendizagem se caracteriza pela interação da informação, de forma não arbitrária e substantiva (não-literal), à estrutura cognitiva do aprendiz.

A não-arbitrariedade quer dizer que o material potencialmente significativo se relaciona de maneira não-arbitrária com o conhecimento já existente na estrutura cognitiva do aprendiz. Ou seja, o relacionamento não ocorre com qualquer aspecto da estrutura cognitiva, mas sim com conhecimentos especificamente relevantes, os quais Ausubel chama subsunçores. O conhecimento prévio serve de matriz ideacional e organizacional para a incorporação, compreensão e fixação de novos conhecimentos quando estes “se ancoram” em conhecimentos especificamente relevantes (subsunçores) preexistentes na estrutura cognitiva. Novas idéias, conceitos, proposições, podem ser aprendidos significativamente (e retidos) na medida em que outras idéias, conceitos, proposições, especificamente relevantes e inclusivos estejam

adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do sujeito e funcionem como pontos de “ancoragem” aos primeiros.

A substantividade significa que o que é incorporado à estrutura cognitiva é a substância do novo conhecimento, das novas idéias, não as palavras precisas usadas para expressá-las. O mesmo conceito ou a mesma proposição podem ser expressos de diferentes maneiras, por meio de distintos signos ou grupos de signos, equivalentes em termos de significados. Assim, uma aprendizagem significativa não pode depender do uso exclusivo de determinados signos em particular. A essência do processo da aprendizagem significativa está, portanto, no relacionamento não-arbitrário e substantivo de idéias simbolicamente expressas a algum aspecto relevante da estrutura de conhecimento do sujeito, isto é, a algum conceito ou proposição que já lhe é significativo e adequado para interagir com a nova informação. É desta interação que emergem, para o aprendiz, os significados dos materiais potencialmente significativos (ou seja, suficientemente não arbitrários e relacionáveis de maneira não-arbitrária e substantiva a sua estrutura cognitiva). É também nesta interação que o conhecimento prévio se modifica pela aquisição de novos significados.

A não arbitrariedade e a substantividade definem que é no curso da aprendizagem significativa que o significado lógico do material de aprendizagem se transforma em significado psicológico para o sujeito.

3.3 Ferramentas Cognitivas

Ferramentas, como demonstra [Jonassen, 1992 apud Mendes, 2002], são extensões dos seres humanos que os favorecem em relação aos animais. Algumas espécies de animais têm descoberto ferramentas, mas eles não são hábeis em conceber necessidades de construí-las ou incorporá-las em suas culturas. Através da história, os humanos têm desenvolvido ferramentas com o objetivo de facilitar o trabalho físico. A revolução industrial ampliou este benefício ao adicionar-lhes recursos artificiais de grande poder. A revolução da informação e da eletrônica estendeu-lhes também recursos artificiais em sua funcionalidade e êxito.

Ferramentas cognitivas baseadas no computador vêm sendo desenvolvidas para favorecer a aprendizagem. São ferramentas generalizáveis e podem facilitar o processo cognitivo através do enriquecimento de estratégias de aprendizagem. As ferramentas cognitivas como artefatos mentais e computacionais que facilitam, orientam e estendem o processo de pensamento de seus usuários. Muitas ferramentas cognitivas, tais como estratégias cognitivas e metacognitivas³, são internas ao aprendiz. Além das ferramentas cognitivas internas, existem ferramentas externas, tais como os artefatos baseados em computadores e ambientes que estimulam o processo de pensamento. Essas ferramentas (internas e externas) são usadas para desenvolver o processo cognitivo significativo da informação que pode ser aplicado aos problemas individuais e coletivos.

Atualmente, os mapas conceituais e os organizadores gráficos são ferramentas cognitivas utilizadas, em larga escala, para organizar e representar o conhecimento científico e mental e para desenvolver novas metodologias de ensino.

A literatura sugere diferentes aplicações dos mapas conceituais e organizadores gráficos na educação e do treinamento como estratégias de aprendizagem que enriquecem a construção do conhecimento por meio de novas tecnologias da informação. Os mapas conceituais são utilizados como auxiliares dos educadores na definição de objetivos cognitivos, nos modelos de currículo, no desenvolvimento e avaliação do material curricular, na elaboração de planos de ensino, na avaliação de estratégias de aprendizagem, na construção do conhecimento em determinada área científica. São ferramentas colaborativas de distribuição cognitiva a distância, em estratégias de aprendizagem e decisão de navegação em lições, usando hipermeios e hipertextos, em gerenciamento do conhecimento e da informação e em bibliotecas virtuais [Mendes, 2002].

³ A metacognição é um importante conceito na teoria cognitiva e consiste em dois processos básicos que ocorrem simultaneamente: a monitoração do progresso enquanto se aprende e fazer mudanças e adaptar estratégias de aprendizagem se necessário. Refere-se à auto-reflexão, auto-responsabilidade e iniciativa, bem como uma meta a ser cumprida e a monitoração do tempo [Jans and Leclercq, 1997].

3.3.1 Organizadores Gráficos

Os organizadores gráficos [Ausubel, 1984] são estruturas conceituais hierárquicas organizadas em sistemas em árvore, não estabelecendo reconciliações integrativas entre os conceitos. Os organizadores são excelentes ferramentas cognitivas para a organização e distribuição dos conteúdos da grade curricular, pois eliminam a estrutura modular, fragmentada, linear e unidimensional dos modelos tradicionais de ensino. Dessa maneira, servem como guia para o ensino dos conteúdos de forma multidimensional e interdisciplinar, como também fornecem uma visão entre o todo e as partes dos conceitos a serem estudados. Além disso, contribuem para o gerenciamento da informação e para a aprendizagem significativa porque possibilitam a identificação dos conceitos fundamentais e os conceitos *a priori*, necessários para compreender a nova informação. A Figura 3.1 exemplifica um organizador gráfico.



Figura 3.1: Exemplo de Organizador Gráfico
Fonte: [Faria, 1995].

3.3.2 Mapas Conceituais

Em um sentido amplo, mapas conceituais são apenas diagramas indicando relações entre conceitos [Moreira, 1980]. No entanto, eles podem ser vistos como diagramas hierárquicos que procuram refletir a organização conceitual de um dado conteúdo.

Os mapas conceituais têm por objetivo representar relações significativas entre conceitos na forma de proposições. Uma proposição consiste em dois ou mais termos conceituais ligados por palavras de modo a formar uma unidade semântica. A maior parte dos significados dos conceitos são aprendidos através da composição de proposições em que se inclui o conceito a ser adquirido. Embora as proposições empíricas concretas possam facilitar a aprendizagem dos conceitos, a regularidade representada pela designação do conceito adquire um significado adicional através do estabelecimento de proposições em que se inclui o conceito em questão.

Um mapa conceitual é um recurso esquemático para representar um conjunto de significados conceituais incluídos numa estrutura de proposições. Os mapas conceituais servem para tornar claro, tanto aos professores como aos alunos, o pequeno número de idéias chave em que eles se devem fixar para uma tarefa de aprendizagem específica. Um mapa conceitual também pode funcionar como um mapa rodoviário, mostrando alguns dos trajetos que se podem seguir para ligar os significados de conceitos de forma a que resultem proposições. Como se sabe, a aprendizagem significativa se produz mais facilmente quando os novos conceitos são englobados sob outros conceitos mais amplos, mais inclusivos. Sendo assim, os mapas conceituais devem ser hierárquicos, isto é, os conceitos mais gerais e mais inclusivos (conceitos superordenados) devem situar-se no topo do mapa, com os conceitos cada vez mais específicos, menos inclusivos, colocados sucessivamente abaixo deles. A Figura 3.2 ilustra a hierarquia do mapa conceitual.

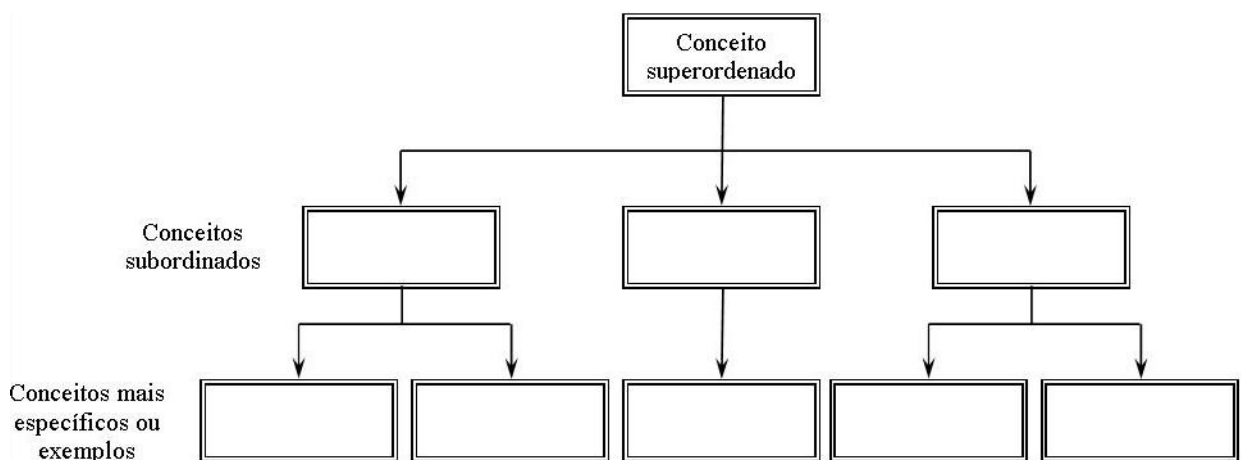


Figura 3.2: Hierarquia do Mapa Conceitual
Fonte: [Mendes, 2002].

Outro requisito importante nos mapas conceituais são as linhas terminadas em setas usadas para unir os conceitos, esta estratégia visa mostrar que a relação de significado entre os conceitos e a(s) palavra(s) de ligação se expressa principalmente em um dos sentidos. Faz-se necessário isolar conceitos e palavras de ligação e reconhecer que embora ambos sejam unidades de linguagem fundamentais, eles desempenham papéis diferentes na transmissão do significado. A Figura 3.3 apresenta um exemplo de mapa conceitual que aborda exatamente os conceitos desta subsecção.

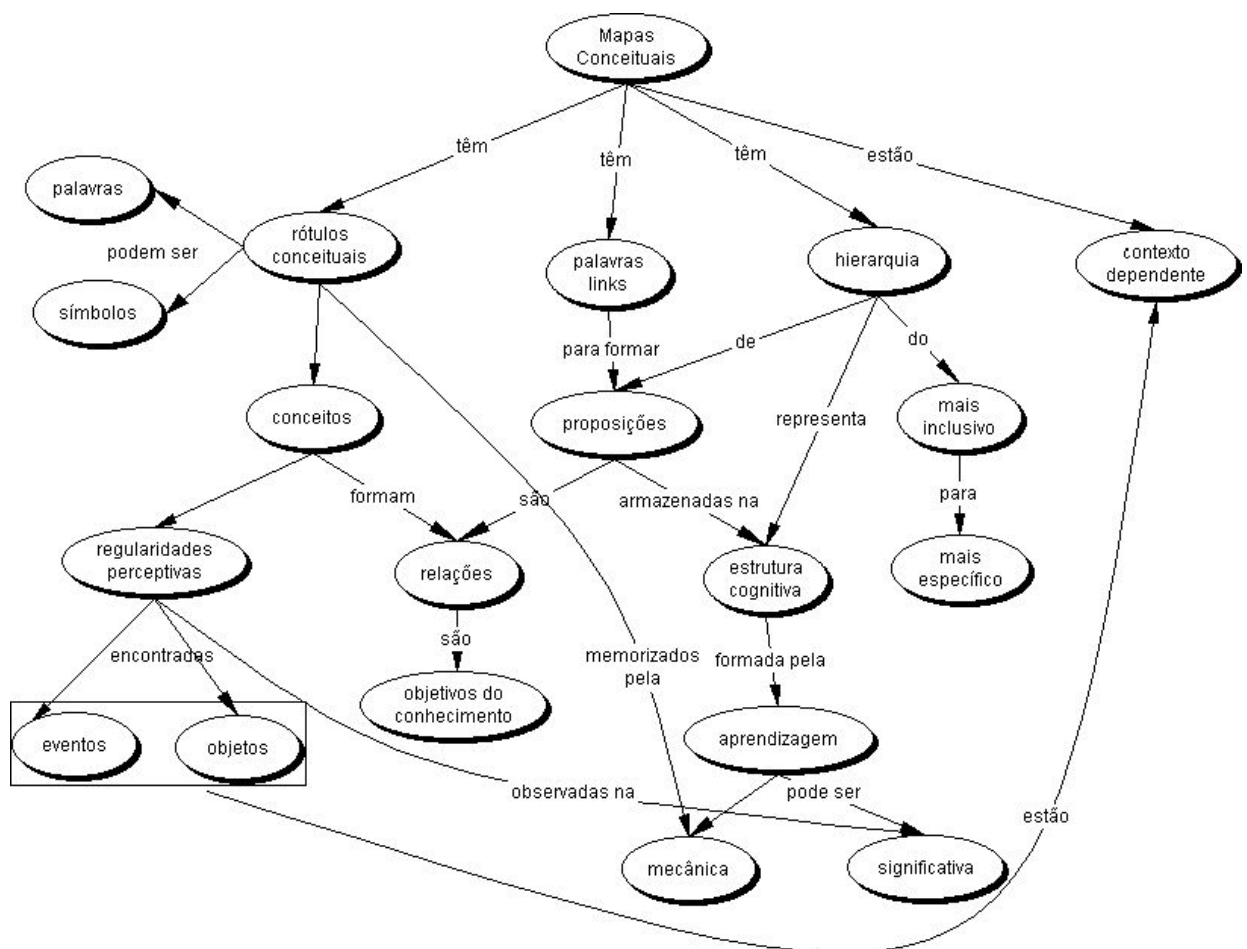


Figura 3.3: Mapa conceitual do mapa conceitual
Fonte: [Mendes, 2002].

3.4 Desenhos Pedagógicos do SEFIRV

Desenho pedagógico é um novo horizonte conceitual do ensino, da aprendizagem e dos suportes de aprendizagem. O termo desenho pedagógico refere-se a qualquer escolha sistemática e ao uso de procedimentos, métodos, prescrições e

mecanismos numa ordem que proporcione a aprendizagem efetiva, eficiente e produtiva [Lowyck, 2002]. Como outros usos de desenho, a exemplo da arquitetura e da engenharia, o desenho pedagógico surge de uma extensiva base de conhecimento para a realização de tarefas, identificação e resolução de problemas.

Qualquer atividade de desenho pedagógico resulta em um plano ou cenário que define o formato, os conteúdos, a estrutura do ambiente, os sistemas de distribuição e as estratégias de execução. Com o crescimento de ambientes eletrônicos de aprendizagem, essas definições certamente necessitam de algumas adaptações. Nos mais recentes modelos, alguns componentes estão presentes, tais como: a) uma análise da base de conhecimento sobre as teorias da aprendizagem e das teorias instrucionais, b) o desenho da estrutura de referência usado para o contexto, grupo alvo e conteúdo similar c) o agrupamento de regras ou procedimentos válidos para regularizar e realizar o processo e o produto do desenho [Lowyck, 2002].

De acordo com essas definições, elaborou-se um desenho pedagógico para o *software* de ensino de Física no Ensino Médio, baseado na análise de desenho pedagógico de Lowyck (2002), nos princípios construtivistas para o desenho de sistemas instrucionais de Lebow (1995), nos modelos de aprendizagem significativa de Ausubel (1984), nos modelos de ensino de ciências de Mintzes Wandersee e Novak (1998) e nas pesquisas sobre ferramentas cognitivas e tecnologias da informação de Jonassen, Kommers e Mayes (1992). Elaboraram-se três desenhos para os ambientes de aprendizagem, os quais serão descritos nas subsecções seguintes.

3.4.1 Organizadores Gráficos

O primeiro ambiente consiste em um sistema de organização e distribuição dos conteúdos por meio de organizadores gráficos conceituais (sistema em árvores). Os conceitos e suas hierarquias baseiam-se em livros tradicionais de Física do Ensino Médio. O organizador gráfico construído encontra-se ilustrado nas Figuras 3.4, 3.5 e 3.6.

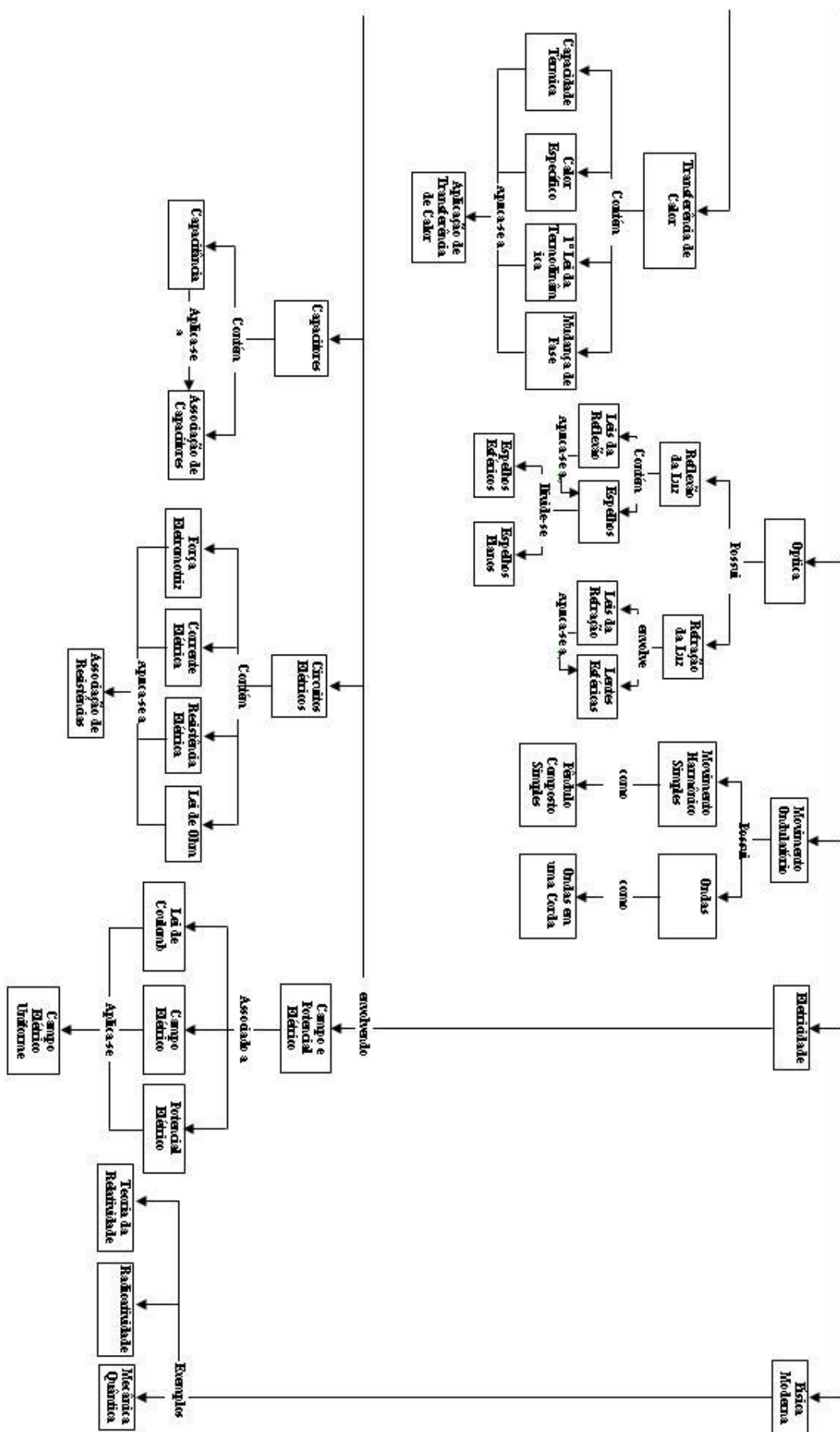


Figura 3.6: Organizador gráfico do SEFIRV - Parte III

3.4.2 Experimentos Virtuais de Física

O segundo ambiente de aprendizagem foi desenhado para que o aluno interaja em sistemas de simulações de fenômenos físicos, em Realidade Virtual, contextualizados com a sua realidade. Estes ambientes que possuem cenários com diversos objetos de aprendizagem têm como intuito estimular a ação intencional, a reflexão e a aprendizagem significativa dos aprendizes. Os experimentos virtuais de Física serão explicados com maiores detalhes Capítulo 4.

3.4.3 Mapas Conceituais

O terceiro ambiente é um sistema tutorial que possibilita ao aluno gerenciar a aprendizagem significativa e compreender os conceitos envolvidos nos sistemas de simulações dos fenômenos físicos. O sistema tutorial foi desenvolvido por meio de Mapas Conceituais referentes aos fenômenos físicos das simulações. Como exemplo, a seguir são apresentados alguns destes mapas:

- A Figura 3.7 apresenta o mapa conceitual do experimento de Queda Livre.

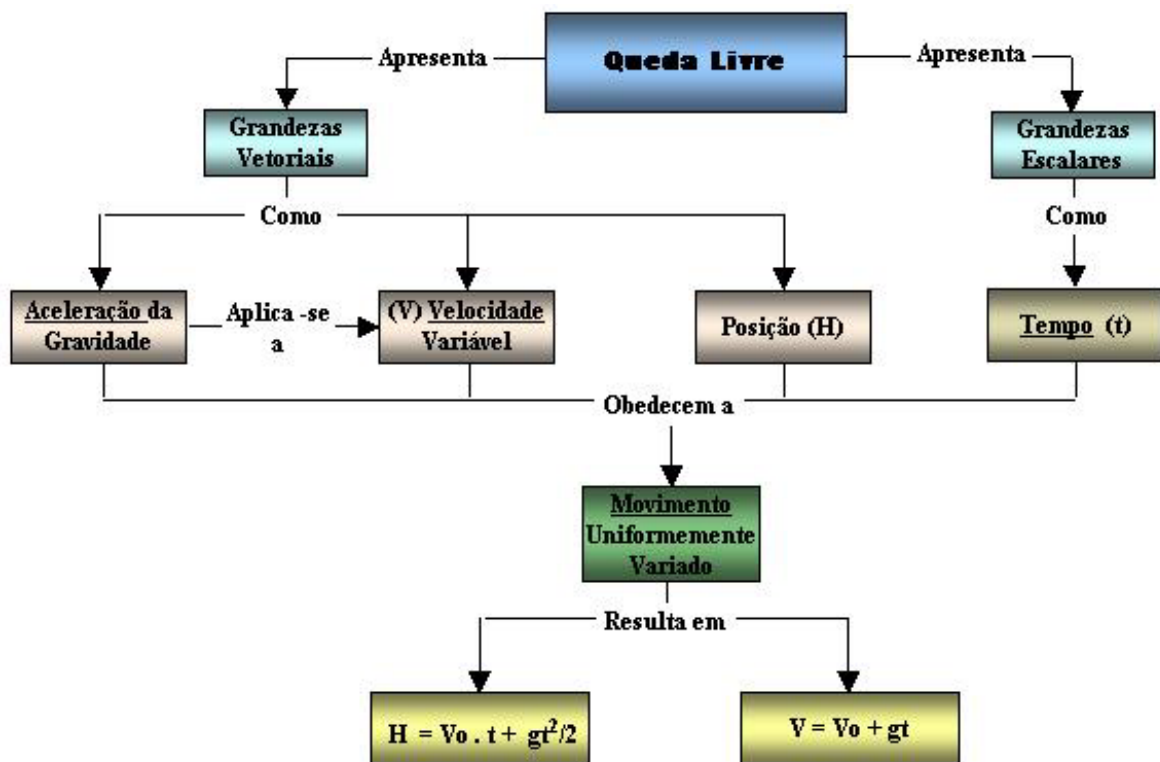


Figura 3.7: Mapa conceitual do experimento de Queda Livre

- A Figura 3.8 ilustra o mapa conceitual do experimento de Movimento Curvilíneo Uniforme.

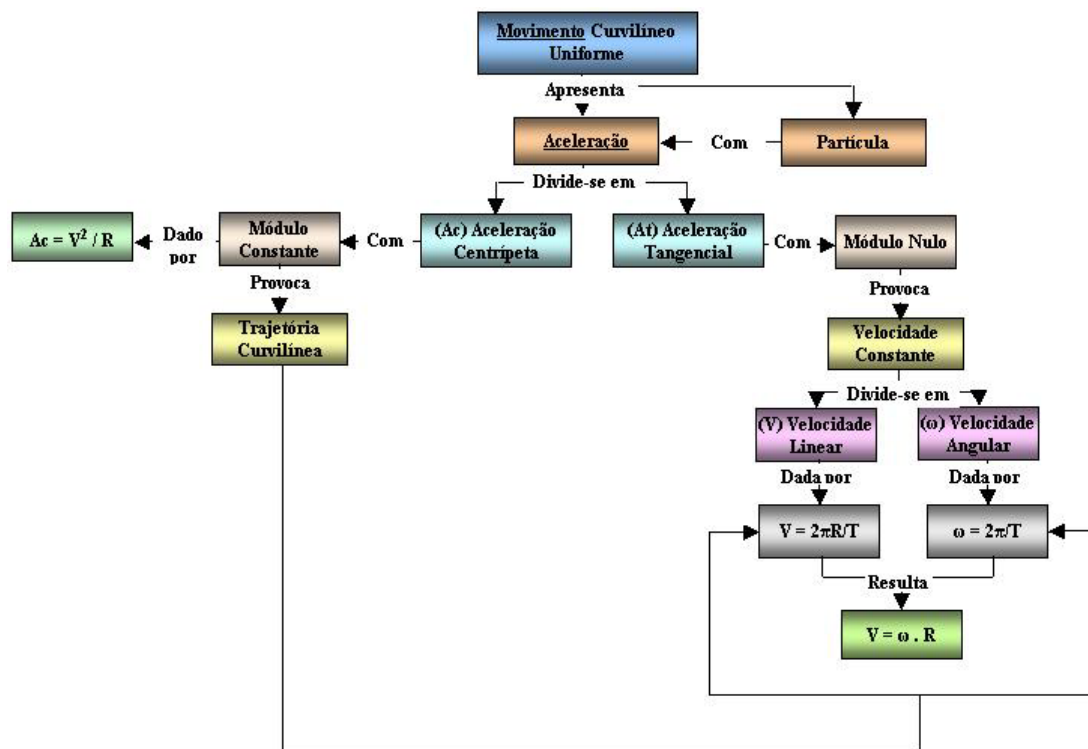


Figura 3.8: Mapa conceitual do experimento de Movimento Curvilíneo Uniforme

- A Figura 3.9 apresenta o mapa conceitual do experimento de Colisão Elástica.

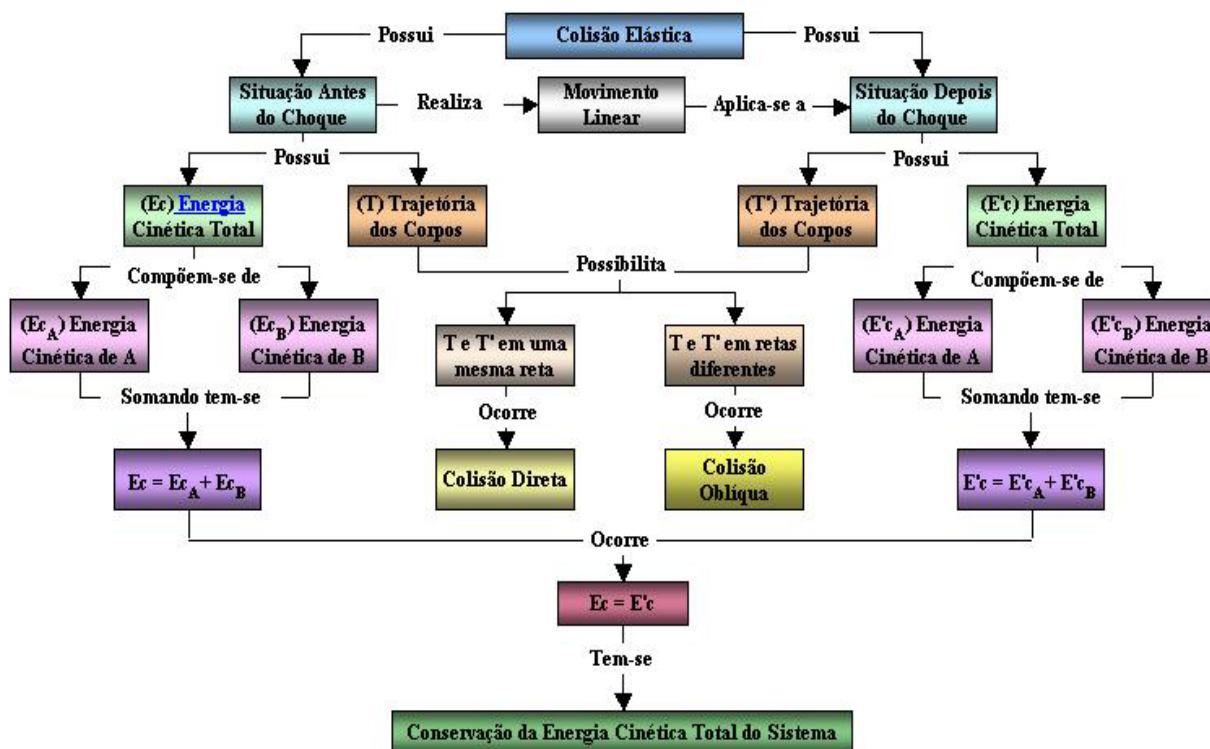


Figura 3.9: Mapa conceitual do experimento de Colisão Elástica

- A Figura 3.10 ilustra o mapa conceitual do experimento de Sistema de Blocos, das Leis de Newton.

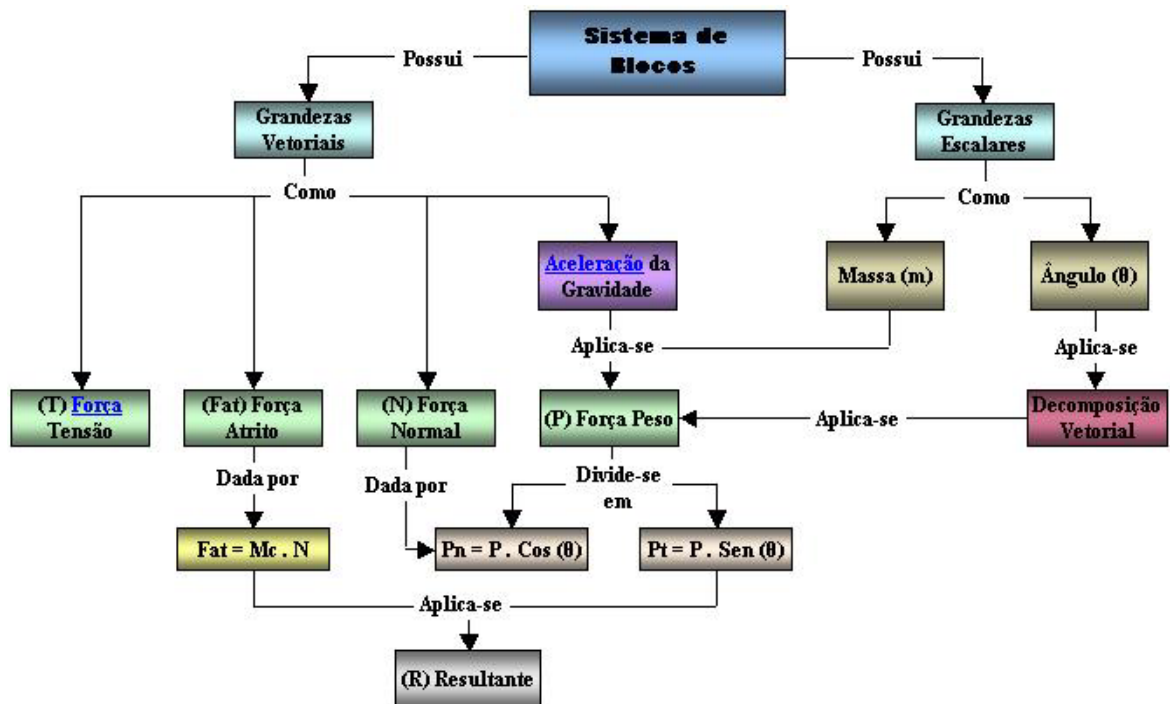


Figura 3.10: Mapa conceitual do experimento de Sistema de Blocos das Leis de Newton

- A Figura 3.11 elucida o mapa conceitual do experimento de Lançamento de Satélites da Gravitação.

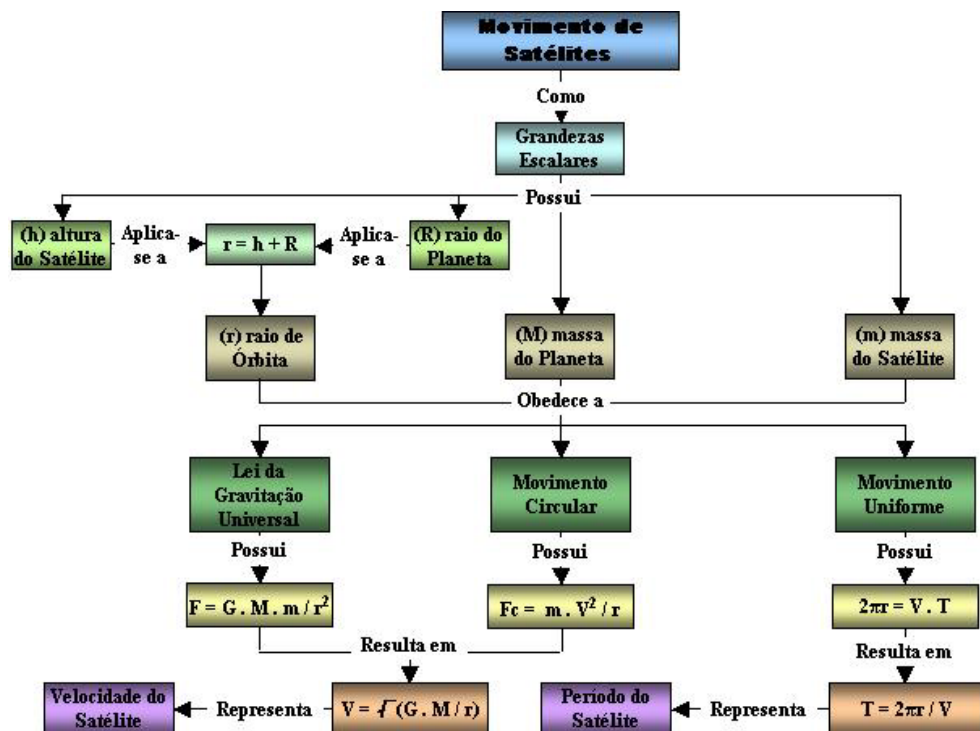


Figura 3.11: Mapa conceitual do experimento de Lançamento de Satélites da Gravitação