

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**José Nazareno dos Santos**

**USO DE FERRAMENTAS COGNITIVAS  
PARA A APRENDIZAGEM DE FÍSICA**

**Dissertação de Mestrado**

Fortaleza  
2005

**José Nazareno dos Santos**

**USO DE FERRAMENTAS COGNITIVAS  
PARA A APRENDIZAGEM DE FÍSICA**

Orientador: **Prof. Dr. Ilde Guedes da Silva**

Co-orientador: **Prof. Dr. Romero Tavares da Silva**

Fortaleza  
2005

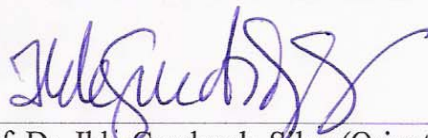
# **JOSÉ NAZARENO DOS SANTOS**

## **USO DE FERRAMENTAS COGNITIVAS PARA A APRENDIZAGEM DE FÍSICA**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Física, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Física .

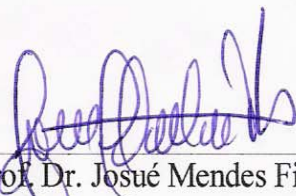
Aprovada em 01 / 02 / 2005

### **BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Ildé Guedes da Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará - UFC



---

Prof. Dr. Josué Mendes Filho  
Universidade Federal do Ceará - UFC



---

Prof. Dr. José Evangelista de Carvalho Moreira  
Universidade Federal do Ceará - UFC



---

Prof. Dr. Romero Tavares da Silva  
Universidade Federal da Paraíba - UFPB

S235u

Santos, José Nazareno dos

Uso de ferramentas cognitivas para a aprendizagem de física / José Nazareno dos Santos - . Fortaleza: 2005. 129f.

Orientador: Prof. Dr. Ilde Guedes da Silva.  
Dissertação (Mestrado) em Física – Universidade Federal do Ceará

1. Física – Ensino-aprendizagem 2. Física – Animações interativas 3. Newton – Mecânica – Processos cognitivos.

I. Título

C.D.D. 530

C.D.U. 53

**Dedico este trabalho com grande alegria e carinho a meus pais João Antonio dos Santos e Maria Mariana dos Santos, a minha irmã Lourdes e a minha sobrinha Maria da Guia, pelos incentivos à distância e nos poucos momentos de proximidade, pelo compartilhamento de idéias e disposição para me ouvirem.**

# Agradecimentos

Ao meu orientador Prof. Dr. Ilde Guedes da Silva pela eficiente orientação, pelas incansáveis leitura e revisão crítica do material, pelo apoio e pela confiança em mim depositada durante a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Josué Mendes Filho pelo apoio e pela atenção.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Romero Tavares pelas discussões sobre construtivismo, animações interativas e aprendizagem significativa.

Ao Departamento de Física da UFC por ter proporcionado as condições para a concretização deste trabalho.

Aos amigos Fernando, Roberval, Sidou e Tayroni pela excelente convivência.

A todos os alunos da pós-graduação de Física que ingressaram juntamente comigo: Arian, José Alves, Erlânia, Girão, Ellen, Walter, Hiroshi, Gilberto e Jeová pelos longos períodos de estudos.

A todos os meus colegas da pós-graduação de Física pelos momentos de estudos e descontração, Marilza, Jusciane, Cristiano, Éder, Joelma, Fabrício, Teldo, Jean, Euzenil, Myleni, Daniel, Subênia, Julianna e todos os outros.

A Rejane e Ana Cleide, secretárias da pós-graduação do DF (UFC), a Creuza, secretária e Elias secretário da coordenação de graduação do curso de Física (UFC), pelo atendimento sempre gentil.

A João Honorato, Dona Maria e todos os seus familiares pela grande atenção dispensada a todos de minha família.

A Dona Silvina e sua filha Sílvia, pelas divertidas conversas sobre física básica e atualidades.

As entidades fomentadoras de pesquisa, CNPq e FUNCAP que forneceram os subsídios necessários para a realização desta dissertação.

# Resumo

Neste trabalho usamos as ferramentas cognitivas chamadas de animações interativas para aperfeiçoar o processo de ensino-aprendizagem da Mecânica Newtoniana que é o assunto do primeiro curso de Física Geral freqüentado pelos alunos. Os softwares de modelagem Java e Modellus foram usados para enfatizar a criação e a exploração de representações múltiplas de fenômenos físicos durante o processo de ensino-aprendizagem. O objetivo deste trabalho é duplo: (i) mostrar como a animação interativa pode realmente aprimorar o entendimento dos fundamentos da Mecânica Newtoniana e (ii) esboçar os primeiros passos ao longo do caminho para desenvolver um curso de ensino à distância focalizado no uso da web para distribuição do curso e suporte dos estudantes. Para fazer isso, baseando-nos em fundamentos da filosofia construtivista seguimos uma tabela de conteúdos diferente daquela apresentada em livros-texto usuais. Durante este trabalho produzimos juntos com os estudantes centenas de animações interativas. Os resultados relacionados ao aumento da nota média dos estudantes submetidos a esta nova metodologia e a produção de um livro eletrônico são apresentados.

# Abstract

In this work we use cognitive tools called interactive animations to improve the teaching-learning process Newtonian Mechanics which is the subject of the first General Physics course attended by the students. Java and Modellus modeling softwares were used to emphasize the creation and exploration of multiple representations of physical phenomena during the teaching-learning process. The goal this work is two fold: (i) showing how the interactive animation can really improve the understanding of the grounds Newtonian Mechanics, and (ii) drawing the first steps along the way to develop a distance teaching course focusing on the use of web for course delivery and support of students. To do so, we follow based on the grounds of the constructivist philosophy a table of contests different of that presented in usual textbooks. During this work we produced together with the students hundreds of interactive animations. The results related to the increase of the average grades of the students submitted to this new methodology and the production of the electronic book are presented.



# Lista de Figuras

<b>Figura 2.1.</b> O <i>continuum</i> aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa representam o salto de qualidade para a verdadeira aquisição do conhecimento .....	41
<b>Figura 2.2.</b> Mapa Cognitivo sobre o <i>Modellus</i> .....	48
<b>Figura 3.1.</b> A “matriz (representação bidimensional)” ilustra em suas diferentes posições, as formas típicas de aprendizagem. As aprendizagens por recepção e por descoberta estão em um <i>continuum</i> distinto daquele entre aprendizagem mecânica e significativa .....	58
<b>Figura 3.2.</b> Esquema representativo da assimilação-obliteração de um novo subsunçor <i>s</i> através de um subsunçor <i>S</i> já existente, resultando em um subsunçor modificado <i>S'</i> ..	59
<b>Figura 3.3.</b> Um mapa conceitual da Teoria de Educação de Novak, tendo a aprendizagem significativa como conceito chave. Os tópicos e os conectivos em linhas destacadas é a contribuição desta dissertação dentro do contexto da aprendizagem significativa .....	65
<b>Figura 3.4.</b> Um problema sobre a conservação da energia envolvendo plano inclinado, mola e atrito .....	72
<b>Figura 4.1.</b> Animação interativa applet de Java para o pêndulo simples .....	98
<b>Figura 4.2.</b> Gráfico comparativo das médias das notas por turmas correspondentes aos semestres: 2000.1 a 2003.1; 2003.2, 2004.1 e 2004.2. Os dados são por código de disciplinas, turmas da disciplina CD256 e da UFC .....	108
<b>Figura 4.3.</b> Gráfico comparativo das maiores, valores médios e menores médias das notas por disciplinas nos períodos de 2000.1 a 2004.2. Os dados são por código de disciplinas, turmas experimentais da disciplina CD256 e da UFC .....	111
<b>Figura 4.4.</b> A função de probabilidade de massa em função da média dos alunos para a instituição UFC e para a disciplina CD256 no semestre 2003.2 .....	112
<b>Figura 4.5.</b> A função de probabilidade de massa em função da média dos alunos para a instituição UFC, para a disciplina CD256 e para a turma experimental G2004.1 no semestre 2004.1 .....	113
<b>Figura 4.6.</b> A função de probabilidade de massa em função da média dos alunos para a instituição, para a disciplina CD256 entre os anos de 2000 a 2004 e para as turmas avaliadas nos semestres 2003.2 (G2003.2) e 2004.1 (G2004.1) e para as turmas experimentais combinadas (G2003.2 e G2004.1) .....	113
<b>Figura 4.7.</b> A função de probabilidade de massa em função da média dos alunos para a instituição, para a disciplina CD256 entre os anos de 2000 a 2004 e para o conjunto das turmas experimentais .....	115

# Lista de Tabelas

<b>Tabela 3.1.</b> Questões de ordem histórica e estrutural que dificultaram o ensino de Física .....	75
<b>Tabela 3.2.</b> Problemas filosóficos, metodológicos, psicológicos e conceituais que dificultam o ensino de Física .....	76
<b>Tabela 3.3.</b> Ações a serem empregadas para solucionar os problemas enfrentados no ensino de Física .....	78
<b>Tabela 3.4.</b> Etapas necessárias em um processo de negociação para a avaliação da aprendizagem .....	80
<b>Tabela 3.5.</b> Possíveis formas de avaliação a serem negociadas entre professores e alunos para o desenvolvimento do processo de aprendizagem .....	82
<b>Tabela 3.6.</b> Estudiosos e suas contribuições significativas para o ensino de um modo geral e especificamente para o ensino de Física, a partir da junção da filosofia construtivista com a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) .....	83
<b>Tabela 3.7.</b> Algumas diferenças entre a metodologia tradicional de ensino e a metodologia baseada na aprendizagem significativa com o emprego de animações interativas .....	84
<b>Tabela 3.8.</b> Divisão dos assuntos em Física Geral I para a determinação da seqüência lógica do livro didático .....	87
<b>Tabela 4.1.</b> Distribuição de capítulos por semanas que segue a nova abordagem metodológica para a ementa da disciplina CD256 .....	94
<b>Tabela 4.2.</b> Teste conceitual para a verificação do conhecimento prévio dos alunos e possível influência do organizador prévio sobre movimento harmônico simples .....	96
<b>Tabela 4.3.</b> Médias decimais dos alunos de Física Geral I da UFC no período 2004.1 (G2004.1) para o teste conceitual sobre Movimento Harmônico Simples .....	96
<b>Tabela 4.4.</b> Questionário de avaliação das características do curso, da aprendizagem, da metodologia, do professor e das animações interativas .....	103
<b>Tabela 4.5.</b> Resultado do questionário de avaliação das características do curso, da aprendizagem, da metodologia, do professor e das animações interativas .....	104
<b>Tabela 4.6.</b> Dados gerais sobre os alunos de Física Geral I entre os anos de 2000 a 2004 na UFC em comparação com os dados da aprendizagem significativa .....	107
<b>Tabela 4.7.</b> Média por fase de avaliação das turmas de controle G2003.2a e experimental G2003.2b da disciplina Física Geral I (CD256) da UFC .....	109

# Índice

<b>1. Introdução .....</b>	<b>13</b>
1.1. Um breve histórico da Física .....	15
1.2. A evolução do ensino .....	19
1.3. A revolução do ensino através da Filosofia Construtivista .....	21
1.4. Objetivos e organização da Dissertação .....	25
Referências Bibliográficas .....	28
<b>2. Teorias Pedagógicas e Teorias Físicas: uma reconciliação integrativa ..</b>	<b>31</b>
2.1. Introdução .....	31
2.2. Questões filosóficas das leis de Newton e o Construtivismo .....	32
2.3. Bases conceituais do Construtivismo .....	36
2.4. Construtivismo e a Tecnologia da Informação e Comunicação .....	42
2.5. A Animação Interativa como um recurso pedagógico .....	45
Referências Bibliográficas .....	51
<b>3. Aprendizagem Significativa: uma nova metodologia de ensino .....</b>	<b>55</b>
3.1. Introdução.....	55
3.2. Aprendizagem significativa: tipos de aprendizagens, princípios e estratégias .....	56
3.2.1. Aprendizagem por descoberta e aprendizagem por recepção .....	57
3.2.2. Teoria da assimilação, aprendizagens subordinada e superordenada .....	58
3.2.3. A facilitação programática da aprendizagem significativa .....	61
3.2.4. Estratégias instrucionais .....	62
3.3. Animação interativa como estratégia instrucional .....	64
3.3.1. O aprendiz como agente do processo educativo .....	66
3.3.2. O material instrucional como agente do processo educativo .....	67

3.3.3. Uma análise de um problema típico de conservação de energia .....	71
3.4. O processo de avaliação e o emprego das animações interativas .....	73
3.4.1. Levantamento dos problemas que dificultam o ensino de Física .....	74
3.4.2. Proposta de solução para os problemas que dificultam o ensino de Física ..	75
3.4.3. Aplicação prática em sala de aula presencial e virtual .....	77
3.4.4. Avaliação da aprendizagem significativa .....	79
3.5. Uma nova seqüência lógica para um material didático .....	82
Referências Bibliográficas .....	88
<b>4. Resultados e Discussões .....</b>	<b>90</b>
4.1. Introdução .....	90
4.2. Metodologia .....	90
4.2.1. Definição do universo .....	91
4.2.2. Definição da amostragem .....	91
4.2.3. Coleta de dados .....	91
4.2.4. Instrumentos de coleta de dados .....	92
4.2.5. Descrição da metodologia .....	92
4.3. Análise dos dados qualitativos .....	100
4.3.1. Identificação do conhecimento prévio e evolução conceitual .....	100
4.3.2. Atividades desenvolvidas .....	101
4.3.3. Avaliação do questionário .....	102
4.4. Análise dos dados quantitativos sobre Física geral I na UFC .....	105
4.4.1. Considerações gerais .....	105
4.4.2. Dados quantitativos gerais para Física Geral I .....	106
4.4.3. Dados quantitativos para as turmas CD256C e CD256B .....	109
4.4.4. Curvas de distribuição normais para as médias dos alunos na UFC .....	111
4.4.5. Resultados obtidos pelos alunos da aprendizagem significativa cursando Física Geral II .....	114

<b>5. Conclusão</b> .....	<b>116</b>
<b>Anexo 1</b> .....	119
<b>Anexo 2</b> .....	120
<b>Anexo 3</b> .....	121
<b>Anexo 4</b> .....	122
<b>Anexo 5</b> .....	124
<b>Anexo 6</b> .....	129

# Capítulo 1

## Introdução

Nas últimas décadas, testemunhamos uma grande mobilização de professores e estudiosos do ensino de Física visando a elaboração de textos alternativos e metodologias que aprimorem o processo ensino-aprendizagem. Esta preocupação é evidente e está motivada pelo reduzido número de alunos que concluem a licenciatura e o bacharelado desta área do conhecimento. Não precisamos ir tão profundo na nossa colocação, visto que, o número de repetências no ensino de Física Geral, ou seja, nos assuntos introdutórios ou na base do conhecimento dos conceitos físicos, contribui significativamente para estes números desalentadores. Neste caso, os alunos das engenharias, química e matemática, além dos próprios alunos do curso de física também estão envolvidos. Hestenes [1] analisou um estudo sobre o aproveitamento escolar de 12.000 estudantes americanos em cursos de Física, nas escolas secundárias, faculdades e universidades. Ele concluiu que antes das aulas de Física os alunos têm crenças errôneas sobre a Mecânica, que contrariam os conceitos Newtonianos.

Os alunos componentes de determinada turma apresentam diferenciadas características e entendimento heterogêneo sobre os assuntos a serem apresentados, e via de regra, as dificuldades nas interpretações gráficas e o pouco conhecimento conceitual são os fatores que predominam. As pesquisas comprovam as deficiências destes alunos como é mencionado em vários estudos realizados [2, 3, 4]. As limitações de aprendizado estão distribuídas em todos os níveis de ensino, incluindo-se aqui os alunos do ensino médio. Na medida em que estes alunos são instruídos por professores que na sua grande maioria são originários do ensino superior, admite-se uma dificuldade conceitual destes instrutores ou um desconhecimento de técnicas de ensino adequadas.

Podemos dizer que o ensino de Física no atual contexto apresenta-se nitidamente incapaz de sensibilizar o alunado. A proposta pedagógica vigente é simplificadora, pois na sala de aula, apresentam-se apenas resumos com fórmulas como meio de fugir das dificuldades de comunicação que impedem o real aprendizado; discriminatória, porque os professores não valorizam a individualidade e a realidade de cada aprendiz e ineficaz, por não desenvolver um senso crítico e abstrato capaz de atuar como diferencial significativo

para um verdadeiro aprendizado de Física. É, portanto, inegável a necessidade de tais evoluções na pesquisa em ensino de Física, estando o estudo em aberto e em plena transformação.

No intuito de mudar este quadro limitado e ultrapassado, novas ferramentas e abordagens pedagógicas devem ser empregadas como modificadores da realidade. Devem ainda ativar a curiosidade e a espontaneidade dos alunos, dinamizando o ensino e diminuindo a distância entre estes e os professores. Os critérios devem ser diferenciados e capazes de acompanhar as atuais exigências da sociedade contemporânea, onde muitos não têm a facilidade e o tempo disponível para participar das formas tradicionais de ensino, necessitando, portanto, de recorrer às salas de aulas virtuais, como é o caso de muitos alunos que estudam no período noturno nas nossas instituições de ensino. Não esqueçamos que um número elevado de alunos concluintes do ensino médio não tem acesso ao ensino superior, estão excluídos do processo educativo e da competitividade capitalista.

Uma tendência mundial de pesquisa é a inserção de computadores nas escolas como ferramenta de ensino adicional às aulas convencionais ou como apoio para cursos de educação à distância (EAD). Vários são os pesquisadores que estão ativamente empenhados neste tema no Brasil e no exterior [5, 6, 7, 8, 9, 10] e na nossa busca por soluções para o ensino também trilhamos a linha da *modelagem computacional*. Diversas correntes de pesquisa em ensino apresentam as teorias de suas preferências, e podemos separá-las nas seguintes linhas principais [11]:

- (i) Comportamentalismo – Burrhus F. Skinner [12];
- (ii) Cognitivismo – Jean Piaget [13], Lev S. Vygotsky [14], David P. Ausubel [15] e Joseph D. Novak<sup>1</sup> [16];
- (iii) Humanismo – Carl Rogers [17].

Os pesquisadores em Tecnologia Educacional [18] são unânimes em apontar o construtivismo como a teoria mais adequada para ser usada na concepção de uma Educação Mediada por Computadores (EMC). Assim as teorias cognitivistas que são construtivistas seriam as indicadas para o desenvolvimento da metodologia. O construtivismo possibilita a Aprendizagem Significativa [19, 20] e um dos caminhos para alcançá-la é através do uso da interatividade entre o aprendiz e o conhecimento. Com essa interação o aluno se apropria deste saber, alterando os seus saberes e adicionando o novo, numa construção dialética.

---

<sup>1</sup> A Teoria da Educação de Novak é cognitivista e humanista. Podemos incluí-la nesta relação visto que a sua teoria envolve também a Teoria de Ausubel.

Cientes das dificuldades existentes para o ensino-aprendizagem de Física e definida a filosofia metodológica, o construtivismo, faremos uma breve análise histórica do desenvolvimento da Física e discutiremos também sobre a evolução do ensino e das áreas da aprendizagem, da avaliação e da informática. É imprescindível que identifiquemos os reais problemas no ensino de Física dentro de um contexto histórico.

## **1.1. Um breve histórico da Física**

Voltando no tempo por alguns milênios, detectamos o estudo da Física celeste por Platão no princípio do século IV a.C. [21]. Neste momento, via-se o ensino e a Física (Filosofia Natural) com os pressupostos da contemplação e da observação sem a base experimental para a validação das idéias discutidas. O movimento circular uniforme era aceito como o único movimento possível para representar as trajetórias da lua, do sol e das estrelas, pelo simples fato de que o círculo e a esfera eram considerados figuras geométricas perfeitas. No mesmo século, Aristóteles analisava a matéria em termos dos “Quatro Elementos”: Terra e Água em baixo; Ar e Fogo em cima, onde cada um deles teria seu lugar natural. Assim, um objeto mais pesado, a pedra, cairia muito mais depressa que um objeto mais leve, a gota d’água. Aristóteles afirmava ainda que todo movimento surge e é mantido pela ação de uma força. O ensino como não poderia deixar de ser era calcado nas colocações e palestras de algumas mentes privilegiadas da época, por exemplo, Platão, e infelizmente equivocadas. O próprio modelo geocêntrico de Ptolomeu [22] no século II d.C. seguiu o modelo platônico das figuras perfeitas. O ensino destas descobertas perdurou por mais de 15 séculos, estendendo-se por toda a idade média e início da idade moderna.

A relação entre filósofos gregos e a doutrina da Bíblia, ou a síntese entre a filosofia clássica e o cristianismo, foi estabelecida por Santo Agostinho [23], um dos maiores filósofos da idade média nos séculos IV e V d.C., assim sendo, também através da razão, poderiam aproximar-se das verdades componentes da natureza. Santo Agostinho era defensor do neoplatonismo e dessa forma, não haveria contradição entre o cristianismo e a filosofia de Platão. Haveria limites para a razão quando se tratasse de questões religiosas, apenas pela fé se chegaria aos mistérios divinos. Apenas oito séculos depois, no século XII, com o surgimento das primeiras escolas nos conventos, e com o ajuntamento das escolas das catedrais com as dos mosteiros, constituiu-se o sistema escolar. Por volta do ano 1200, as primeiras universidades foram criadas e 80 delas já eram conhecidas no século XIII. Os mosteiros passaram a deter o monopólio da educação, reflexão e



meditação, estando a educação centrada na verdade que o cristianismo significava. Neste período, São Tomás de Aquino [24] o outro grande filósofo, admitiu que não haveria distinção entre filosofia e razão e também entre revelação e fé, criando a ligação entre fé e conhecimento. Este conhecimento, dividido em cursos, programas, métodos e a disciplina das escolas era regulado pela Igreja. Também se regulava a conduta para professores e a sistematização do saber, dentro de uma perspectiva teológica seguida pela filosofia aristotélica. Os assuntos estudados eram divididos em *trivium* (gramática, retórica e lógica) e em *quadrivium* (aritmética, geometria, astronomia e música). Aos que queriam seguir as artes liberais, ensinava-se apenas teologia, medicina ou direito.

Com o início do período das grandes navegações e descobertas, nos séculos XV e XVI, mostraram-se incorretas as informações geográficas elaboradas por Ptolomeu e assim suscitou-se a possibilidade de estarem erradas todas as suas teorias. Nicolau Copérnico [25] mostrou que a teoria heliocêntrica simplificaria as descrições que caracterizavam a teoria geocêntrica, escrevendo em 1543 a sua obra “Sobre as Revoluções das Esferas Celestes”. Esta nova teoria não destruiu apenas dogmas científicos, mas também religiosos, tanto que a abertura promovida pelos filósofos religiosos da igreja não se justificou na prática e a inquisição continuou a fazer suas vítimas na época do Renascimento e da Reforma, como exemplo, Giordano Bruno, em 1600, defensor destas novas descobertas.

Como a teoria heliocêntrica mostrou-se uma teoria confiável, no final do século XVI, novas observações astronômicas foram desenvolvidas por Tycho Brahe. Johannes Kepler<sup>2</sup> [26], com uma formação platônico-pitagórica, mas com uma forte tendência experimental, publicou suas duas primeiras leis em 1609 e a terceira lei no ano de 1619 com base nos dados experimentais de Tycho Brahe. Um outro grande nome, Galileu Galilei [27, 28, 29] que teve a formação aristotélica, defendia as idéias de Copérnico, além de ser um grande questionador das idéias inatingíveis que vigoravam desde a Grécia antiga. Galileu Galilei foi o primeiro a testar ativamente os fenômenos naturais, através da reprodução de vários experimentos. Este começou a definir o denominado método experimental, criando condições para que outros pesquisadores pudessem reproduzir seus experimentos em locais diferentes. A partir deste momento, passamos a ter os primeiros aparatos lúdicos: o telescópio para observação dos astros celestes e o plano inclinado com o devido controle da aceleração dos corpos para a análise de seus movimentos próximos à

---

<sup>2</sup> Não apenas Kepler, mas Copérnico e Brahe eram muito arraigados as idéias platônicas e pitagóricas. Copérnico, por exemplo, explicou as observações já realizadas através de movimentos ainda mais próximos do ideal platônico.

superfície do planeta Terra. Com o plano inclinado, Galileu Galilei mostrou que é possível existir movimento na ausência de forças (força resultante nula).

A partir da segunda metade do século XVII com a criação da mecânica clássica por Isaac Newton [30, 31, 32], os conceitos físicos foram sendo elaborados e desenvolvidos. Para tanto, Newton precisou responder a questões filosóficas muito profundas e desenvolver o cálculo diferencial e integral. Como consequência deste avanço científico, a diferença entre o conhecimento do cotidiano do ser humano e do necessário para o entendimento das idéias científicas tornou-se praticamente intransponível. Nos dias atuais a situação não é muito diferente, pois as concepções pré-newtonianas são corroboradas a todo o instante: força resultante proporcional à velocidade e nenhum movimento na ausência de forças resultantes.

Enquanto a evolução matemática se processava, a Física ganhava mais poder e beleza. A própria Mecânica Clássica ganhou novas formulações graças a Hamilton e a Lagrange. Ocorreu um grande desenvolvimento no conhecimento da Eletricidade e do Magnetismo que culminou com as equações de Maxwell. Outras áreas do conhecimento também avançavam como era o caso da Química e da Biologia. Nos países europeus a ciência estava em pleno desenvolvimento, com a exceção de Portugal, afeito às questões da navegação e da agricultura. No Brasil a estagnação era evidente visto que não havia nenhum contato influenciador com as civilizações ocidentais.

Apenas no século XVIII, em Portugal, apareceram no ensino, as contestações mais significativas contra o imobilismo dos velhos colégios e faculdades, representado pelo ensino jesuítico (literário, retórico e escolástico) e baseados na manipulação de objetos para agressão corporal e punição para aqueles que não aprendiam as lições ou para aqueles de difícil convivência social. Luiz Antônio Verney [33] propôs abandonar a metafísica e valorizar a experimentação e a *disputa* entre conceitos. A partir das idéias de Verney e com a reforma Pombalina em 1772 foram criados faculdades e estabelecimentos de trabalhos práticos; programas e métodos foram alterados. Esta nova concepção trazia uma mudança de orientação no estilo pedagógico:

*Incutir o espírito científico nos alunos é ponto em que a cada passo se insiste. Em vez de inutilidade da escolástica, prescreve-se o conhecimento das regras newtonianas estabelecidas na Filosofia Natural. Raciocínios teóricos, todos derivarão de princípios plenamente demonstrados por qualquer das disciplinas fundamentais – a Física, a Matemática, a Química, a Botânica, a Farmacologia e a Anatomia [34].*

Estas alterações não surtiram efeito, pois apesar da aniquilação da metodologia jesuítica de ensino, esta não foi substituída por algo melhor. Com a vinda da Família Real

para o Brasil, uma nova mudança no ensino ocorreu através da promoção de intercâmbios entre alunos brasileiros e professores dos países europeus. O intercâmbio, além do desenvolvimento das pesquisas científicas utilitárias, teve um grande impulso após a proclamação da independência. Na década de 1820 teve início a introdução de aulas práticas de Física e no ano de 1832 a Física começou a ser lecionada como disciplina autônoma. A criação do Colégio Pedro II, em 1837, juntamente com as escolas militares e politécnicas, aumentou consideravelmente o número de estudiosos na área da Física. Infelizmente a qualidade do ensino era muito limitada comparativamente aos padrões europeus. Nas colocações de Louis Agassiz [35]:

*... em nenhuma parte do Brasil vi um estabelecimento de instrução, onde os métodos aperfeiçoados sejam tão altamente apreciados, tão geralmente adotados. Os cursos de Matemática, de Química, de Física e de Ciências Naturais são extensos e seriamente feitos, mas mesmo nestes estabelecimentos notei a mesquinha dos meios de demonstração prática e experimental: os professores não me parecem ter suficientemente compreendido que as ciências físicas não se ensinam unicamente ou principalmente com manuais.*

O modelo brasileiro predominantemente exportador de produtos agrícolas, não favorecia a investigação científica e o desenvolvimento tecnológico, mesmo porque a mão-de-obra escravocrata era muito barata. Em países europeus, a prática de ensino e pesquisa nas universidades já era um marco cultural. As idéias dos grandes pensadores metafísicos, entre eles, Emmanuel Kant, já não sustentavam mais um grande status e foram perdendo força teórica com a disseminação da filosofia positivista de Auguste Comte e avanços no setor industrial. A forma pragmática de pensar cientificamente estava em alta, mas as pesquisas somente deveriam ser desenvolvidas em áreas passíveis da prova experimental. Evidentemente, outra corrente contrária ao positivismo defendia a atualização dos currículos e as pesquisas em áreas teóricas e modernas.

Apesar dos evidentes avanços em vários campos de estudo, a realidade é que até o final da última década do século XIX, tinha-se um enorme desconhecimento do comportamento humano e esta deficiência refletia-se nas relações entre professores e alunos e nas metodologias de ensino. Apenas com a criação de um novo campo do conhecimento, a Psicologia [36], buscou-se o entendimento ou a análise do modo de pensar do ser humano e as relações entre o aprendizado e a inteligência do indivíduo. Neste período apenas existiam cinco áreas do conhecimento: Estatística, Astronomia, Química, Biologia e Atomística, além de algumas subdivisões. Estas áreas resultantes do ciclo de descobertas que começou com o

Renascimento, evoluíram e perduraram por mais de três séculos. Grandes questionamentos preenchiam as mentes dos cientistas e respostas concretas eram exigidas. Por exemplo, a Mecânica Clássica não era suficiente para explicar vários fenômenos, entre eles, a radiação do corpo negro. Não apenas foi desenvolvida a Psicologia como ciência, outras grandes descobertas mudaram a mentalidade humana e uma necessidade de fragmentação do estudo do conhecimento se fez necessário. As descobertas como: Teoria da Relatividade Restrita e Geral, o efeito fotoelétrico, o espalhamento da luz pela matéria, o comportamento ondulatório da matéria e a Mecânica Quântica, são exemplos na área da Física. Nas áreas das Ciências Humanas, felizmente, avanços significativos na área do conhecimento humano estavam por influenciar as áreas do ensino e da avaliação.

## 1.2. A evolução do ensino

A Psicologia como ciência surgiu a partir da Biologia Anatômica, por isso, a corrente psicológica inicial seguiu a linha estruturalista que tinha as seguintes características: (i) procurar descobrir o conteúdo da mente; (ii) analisar por introspecção, a maneira pela qual esta se estruturava; (iii) a mente seria composta por elementos: sensações, imagens, afeições e sentimentos e (iv) uso do método experimental. Esta corrente apenas deu um caráter científico à Psicologia, mas sem influências na área do ensino.

A corrente psicológica seguinte chamada de funcionalismo enveredou pelo caminho da Fisiologia e enfatizou a aprendizagem, os testes mentais criados por Binet e outras questões utilitárias; a introspecção em menor escala; o comportamento adaptativo e a atividade intencional. John Dewey [37] considerava que a atividade psicológica é um todo contínuo e não constituída de elementos como defendia a corrente estruturalista inicial. Para esta nova corrente, o estímulo (S) dinamiza o organismo (O) que seleciona e dirige a resposta (S-O-R), das palavras latinas *Stimulus*, *Organismus*, *Responsio*, em um arco-reflexo contínuo, sendo um processo ininterrupto. Nesta linha de pensamento, Binet no ano de 1904, criou os primeiros testes de quociente de inteligência (QI) [38]. Com estes números poderiam comparar os alunos e classificá-los de acordo com uma tabela pré-estabelecida a partir de um conjunto de dados experimentais. Esses testes têm as seguintes características: a rotulação; a comparação; os critérios baseados nas inteligências lógico-matemática e lingüística ou verbal, em uma sociedade que se apresenta com outros tipos de inteligências [39], quais sejam: espacial; musical; corporal-cinestésica; naturalista; pictográficas e as emocionais intrapessoal e interpessoal. A consequência direta para o

ensino foi desastrosa, pois a exigência escolar limitou o número de inteligências avaliadas e estimuladas a apenas duas: a lógico-matemática, necessária para o entendimento da Física, e a verbal. Além disso, definiu-se a inteligência, que é um atributo qualitativo através de um número retirado de um teste puramente quantitativo e discriminatório.

Aos professores, em sua grande maioria tradicionais, foi-lhes colocado à disposição, um recurso metodológico importante: a elaboração de provas com critérios semelhantes aos testes de QI. Com os resultados em mãos, os professores podiam, e estas eram as características da educação na época, ter controle aversivo (punição física); ridicularizar; repreender; ser sarcástico; criticar; preparar lição de casa adicional; provocar trabalho forçado e retirar privilégios. A avaliação escolar nas décadas de 20 e de 30 era apenas uma mensuração [40], ou simplesmente, a verificação do rendimento escolar por aplicação de testes sem uma recuperação. Dava-se uma nota, sem outras avaliações. Este era um recurso aplicado desde os jesuítas, por exemplo, teste oral em língua portuguesa para os índios. Na Física, apareciam as chamadas “casca de bananas”, cobranças de assuntos além da capacidade de resolução por parte dos alunos.

Surgiu então a terceira corrente psicológica, denominada de Comportamentalista, sob a influência da Lei do Efeito de Thorndike, S-O-R. Esta é uma escola direcionada para a educação de modo que podemos falar em psicologia educacional. Suas principais características são: lei do exercício; princípio do ensaio e do erro, e, por último a lei do efeito, onde um ato seguido de satisfação será gravado. Os testes com animais e seus resultados positivos, suscitaram a possibilidade de se aplicar os mesmos mecanismos para o aprendizado do ser humano. O representante máximo do Comportamentalismo foi Skinner [12] que em 1932 apresentou a sua Análise Experimental do Comportamento. Os seres apresentam o Condicionamento Respondente (não-voluntário) e o Condicionamento Operante (voluntário), este último é importante para o aprendizado, onde o adequado controle do meio, bem como a observação do comportamento, que resultou deste meio, seriam suficientes para explicar a conduta das pessoas, sem a interferência de agentes internos.

Skinner desenvolveu o método de ensino programado sem a intervenção direta do professor. De acordo com esta abordagem, os alunos poderiam aprender apenas com o uso de livros, apostilas ou máquinas. De acordo com Skinner, a aprendizagem programada e máquinas de ensinar seriam os meios mais apropriados para realizar a aprendizagem escolar. Na década de 50, ensinar para Skinner era o arranjo de contingências de reforço sob as quais os estudantes aprendem. Além disso, para ele, as deficiências do ensino eram

motivadas pela falta de reforço positivo, visto que neste período, os exames eram usados como ameaças. Os testes eram destinados a mostrar que o estudante não sabia e estes eram coagidos a estudarem. Os aparelhos mecânicos e elétricos deveriam ser usados para maior aquisição do conhecimento. Neste caso, a máquina de Skinner permitiria que o professor dedicasse suas energias a formas mais sutis de instrução. A instrução programada, na sua forma de ver o aprendizado, seria a divisão do material a ser ensinado em pequenos segmentos logicamente encadeados e denominados módulos. A avaliação, neste contexto, deverá perceber mais os objetivos alcançados e traçados pelo professor; detalhar o que o aluno errou, enfatizando o que é importante para o assunto ou não e deve-se trabalhar com o elementar até chegar ao complexo. Na visão comportamentalista, o ensino de Física seguiria a orientação reducionista, ensinar as partes para se chegar ao todo.

### **1.3. A revolução do ensino através da Filosofia Construtivista**

Outros estudiosos, não necessariamente psicólogos, estavam em plena atividade nas várias áreas de estudo: aprendizagem, comportamento, teoria do currículo, capacidade cognitiva, inteligência, motivação, percepção, avaliação etc. Podemos destacar a figura de Jean Piaget [13, 41] que desenvolveu a teoria cognitivista, com implicações nas mais variadas áreas de conhecimento. Este destacou de forma detalhada as etapas e formas de aprendizado do ser humano desde o nascimento até a idade aproximada dos 13-15 anos, quando supostamente atingimos o desenvolvimento das operações formais e o aparecimento real da capacidade de criação.

Piaget acrescentou que o ser humano é um aprendiz que deve agir no meio ambiente que o cerca, procurando as respostas às suas curiosidades e questionamentos. Do ponto de vista escolar, deveriam ser dados os meios para que os estudantes tirassem suas dúvidas, sem necessariamente que os professores, no caso os instrutores, dissessem tudo ou apresentassem a informação de modo padronizado. Se assim fosse, não se estaria respeitando a individualidade de cada um e a velocidade de captação das informações importantes. Este contexto de ensino transforma o professor tradicional em um orientador que permite ao aluno a construção de seu próprio conhecimento.

Este novo educador ao ensinar a disciplina Física já deve estar orientado sobre os motivos que dificultam o seu aprendizado. Estes dados inéditos fazem parte de análises aprofundadas desenvolvidas por Jean Piaget. Um deles é porque a maioria dos educadores julga ser a lógica, uma capacidade de raciocinar inato ao ser humano; o segundo é por

acreditar que a Física deva ser ensinada como se tratasse de verdades acessíveis por meio da linguagem (mais ações fictícias ou narradas) ao invés de se principiar pela ação real ou material [42].

Outro pesquisador que contribuiu com o construtivismo foi Lev Vygotsky [14, 43]. Este desenvolveu uma teoria associada ao contexto social, histórico e cultural, dando ênfase mais a ação da comunidade sobre o aprendizado do aluno, do que a interação com o meio na visão de Piaget. Segundo Vygotsky deve-se exigir do professor um ensino dentro de uma zona de desenvolvimento proximal, acima da capacidade atual de aprendizado do aluno quando sozinho, mas perfeitamente possível com a ajuda de um professor.

A teoria cognitivista de David P. Ausubel denominada de Aprendizagem Significativa [15] desenvolvida nos anos 60, diz-nos que se o significado lógico do material de aprendizagem se transformar em significado psicológico para o aprendiz, estabelece-se a aprendizagem significativa. Diferentemente do comportamentalismo, cujo ensino e a aprendizagem eram examinados como estímulos, respostas e reforços, e estava no auge nesta época, a aprendizagem significativa procura enfatizar os significados. A Aprendizagem Significativa apenas ocorre quando as novas informações e conhecimentos podem relacionar-se de uma maneira não arbitrária com aquilo que a pessoa já sabe [44]. Nesta nova abordagem, o professor deve ser construtivista; promover a mudança conceitual e facilitar a aprendizagem significativa.

A aprendizagem por descoberta enfatizada na teoria da aprendizagem de Piaget é evidenciada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel como parte de um *continuum* que se estende deste a aprendizagem receptiva até a aprendizagem por descoberta. Por outro lado, não é toda aprendizagem por descoberta que é considerada significativa [19]. Este é o caso da tentativa e erro entendido como aprendizagem mecânica e a maioria das pesquisas em sala de aula ou ensino de laboratórios nas escolas. Piaget defende estas formas de ensino para a facilitação do aprendizado.

Vygotsky enfatiza a internalização de significados aceitos por uma sociedade, em todo o seu processo social, histórico e cultural. No entanto, Vygotsky não questiona a qualidade destes significados avaliando se os mesmos são “corretos” ou “errôneos” do ponto de vista acadêmico. A Teoria da Aprendizagem de Ausubel admite os dois tipos de significados, mas evidencia que no curso da aprendizagem significativa devemos empregar cada vez mais os significados “corretos” e aceitos pela comunidade acadêmica, sem substituir os significados “errôneos”, desde que estes também possam ter sido adquiridos de forma significativa. A *troca de significados* abordada por Vygotsky e aprofundada por

D. B. Gowin [45] é um recurso altamente eficiente no curso da aprendizagem. Sua utilização será amplamente explorada na produção das animações interativas.

A teoria comportamentalista vigente empregava as chamadas máquinas de ensinar de Skinner. Estas máquinas eram elaboradas com vários problemas, cada um com algumas opções que eram escolhidas pelo aluno. Ao escolher a resposta correta, a máquina liberava o aluno para responder a seguinte, caso contrário, a máquina permanecia na mesma questão até que o aluno acertasse a resposta. Este era um ensino programado, com aprendizado por tentativa e também através do ato de decorar as respostas corretas. Ausubel, observando as limitações dessas máquinas e da metodologia que as sustentavam como técnicas pedagógicas e as reais dificuldades de emprego das mesmas em sala de aula, procurou desenvolver uma teoria para ser empregada totalmente pelo professor sem a intervenção deste aparato da chamada tecnologia do ensino.

Estas Teorias Construtivistas e as descobertas de várias razões que favorecem a dificuldade do ensino de Física, tais como: a Física Básica que é vista como uma simples coleção de fórmulas; dificuldades de conexão entre os assuntos estudados na Matemática com aqueles estudados na Física; base em Física deficiente, motivada por pouco entendimento conceitual; livros didáticos que não estão escritos logicamente encadeados, ou mesmo, as limitações nas análises gráficas [46], entre outros, dão uma excelente perspectiva de melhorias do ensino de Física. Os avanços na área do conhecimento cognitivo, motivado pela descoberta de como as operações mentais se processam [47], influenciaram positivamente a criação de uma metodologia pedagógica centralizada na ação do sujeito. Com esta abordagem, o sujeito é colocado diante de situações desafiadoras de modo a procurar alternativas e respostas para resolver o problema apresentado, sem necessariamente ter sido imposta uma condição padrão, ou uma forma única, muitas vezes, definida por um professor tradicional, restringindo a sua individualidade, com resultados, como visto atualmente, não muito satisfatórios.

A aplicação da Teoria Construtivista de forma prática cresceu significativamente com o aumento dos esforços na área da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC). Com isto, se desenvolveu a capacidade de processamento e a facilidade de produzir recursos interativos que podem ser facilmente manipulados por alunos e professores, chamados de *Animações Interativas* (AI). Assim, a influência no processo ensino-aprendizagem é uma realidade, mais precisamente, agindo como o elo de ligação entre o professor e o aluno, através de cursos presenciais e à distância. A combinação da TIC, responsável pelo desenvolvimento das *animações interativas*, com as teorias pedagógicas baseadas no



construtivismo define então uma poderosa ferramenta de ação, não apenas de alcance local, como suprimento para recursos educacionais utilizando os computadores pessoais (PC's) que estão se tornando comuns nas escolas, mas também no desenvolvimento de cursos para a abrangente e crescente área de Educação a Distância (EAD) [48]. Os PC's, neste contexto, são os mediadores da educação, visto que através deles podemos unir as duas áreas: Construtivismo e TIC; produzindo aparatos pedagógicos dinâmicos, que possam ser empregados por alunos e professores para facilitar a apresentação de conteúdos que dependem do tempo, necessitando, portanto, de um nível de abstração que está além da capacidade da maioria dos alunos.

Com a Tecnologia da Informação e Comunicação, através do emprego de Applets de Java, Python e Modellus, com a fundamentação pedagógica baseada nas idéias construtivistas, o recurso denominado de *animações interativas*, por seu caráter dinâmico e amplo, concentra em um mini-aplicativo JAVA ou modelos no Modellus, todos os aspectos referentes a um fenômeno físico, quais sejam: evolução temporal, gráficos, grandezas vetoriais e escalares, dados finais e instantâneos, referenciais e sinais, dependência funcional, resolução de exercícios, ajuste experimental de modelos, ênfase conceitual e relações entre conceitos e proposições sob o controle do usuário, de acordo com sua metodologia ou critério individual mais apropriado identificado por um orientador.

A rápida transformação tecnológica ampliou significativamente a capacidade de interação do ser humano com as máquinas, de modo mais amigável e integrado, combinando vários mecanismos ao mesmo tempo, prestando-se a implementação de módulos dinâmicos, representativos de um problema físico e dando realismo ao fenômeno em observação, como relatado por Fiolhais e Trindade [49]. Enquanto estes recursos estão disponíveis, e o perfil do alunado modifica-se a cada momento pelas exigências sociais e tecnológicas, a escola, por sua vez, permanece estática e imutável, de modo a não preencher os anseios de seus constituintes. Evidenciando estas limitações, os estudiosos da área educacional desenvolvem trabalhos atualizados que visam a melhoria da qualidade do ensino mediante a aplicação de teorias com embasamento construtivista e sócio-cultural [50]. Outra teoria que tem uma grande influência é a Teoria da Educação de Joseph D. Novak [16]. A teoria de Novak tem a aprendizagem significativa como conceito chave além de acrescentar uma conotação humanista.

A outrora tecnologia do ensino, de custo muito elevado e de características estáticas de ensino nas décadas de 50 e 60, foi totalmente substituída pelo desenvolvimento dos softwares e hardwares e barateamento dos computadores, inclusive para uso em larga

escala. Em um primeiro momento tivemos a evolução computacional com as linguagens de programação estruturadas nos anos 70, Pascal, C, Ada, Fortran 77 e nos anos 80 e 90, a programação orientada a objetos, C++, Python e JAVA. O desenvolvimento das linguagens de programação orientadas a objetos facilitou não só a simulação dos modelos matemáticos representativos de um fenômeno físico, mas também a animação em tempo real do próprio fenômeno.

O recurso pedagógico desenvolvido a partir deste avanço é capaz de aglutinar todo um conjunto completo de um problema físico, apresentá-lo sob várias formas, em detalhes, que é acompanhado pelo aluno de acordo com o seu critério, fruto de suas experiências, ao mesmo tempo em que compartilha com os outros na sua comunidade, a sua interpretação, enquanto o orientador acompanha o grupo através de sala de bate-papos, controle de tempo de acesso as atividades apresentadas, ou criando situações desafiadoras que podem ser desempenhadas com o uso das *animações interativas*. Nas salas de aulas presenciais, as aulas podem ser acompanhadas pelo uso de computadores para facilitar a explicação e o entendimento dos assuntos em estudo.

Neste contexto, provavelmente a última barreira para o ensino de Física estará eliminada, ou seja, ensinar uma disciplina puramente dinâmica e dependente do tempo, explicitamente ou não, com recursos didáticos estáticos, quadro, giz e podemos dizer, a própria voz. Para esta última, quando não a usamos para discutir os conceitos, diremos que o seu emprego indica que a física é uma ciência puramente teórica e isto não é verídico, fazendo-nos lembrar dos discursos dos grandes filósofos da Grécia Antiga. Devemos recorrer ao uso de laboratórios e para o nosso trabalho, este é totalmente virtual, e assim, em conjunto, emprega-se a fala e o recurso da observação do fenômeno.

## 1.4. Objetivos e organização da Dissertação

Os objetivos desta dissertação envolvem a construção de um Curso de Física Geral I presencial e à distância aplicando ferramentas pedagógicas que facilitem o processo ensino-aprendizagem de Física. Um resultado piloto deste projeto encontra-se no endereço <http://www.fisica.ufpb.br/prolicen>, com ênfase em mini-aplicativos JAVA<sup>3</sup> e <http://www.fisica.ufpb.br/~romero>, com as animações em Modellus<sup>4</sup>, onde mostramos o potencial das *animações interativas* e dos textos com hiperlinks como aparato pedagógico logicamente elaborados e potencialmente significativos. Procuramos

---

<sup>3</sup> Linguagem de programação orientada a objetos com recursos interativos para uso on-line e off-line.

<sup>4</sup> Aplicativo proprietário para modelar matematicamente os fenômenos naturais e permite a interatividade para ambiente Windows.

aprofundar o entendimento dos fundamentos da Física e a ampliação da capacidade do aluno, futuro professor ou pesquisador, em compreender e manipular a linguagem matemática pertinente de modo, a saber, descrever os fenômenos físicos envolvidos relacionados a sua realidade.

Como objetivos específicos, a partir da liberação na Legislação Brasileira da possibilidade das Universidades oferecerem disciplinas usando a modalidade Educação à Distância (EAD) foi iluminado um caminho que já vinha sendo trilhado por inúmeros países como: Inglaterra [51], Canadá [52], Austrália [53], Estados Unidos [54], China [55], etc. A Lei 9.394 de 20 de dezembro de 1996 menciona a EAD no seu artigo 47 e a Portaria MEC 2.253 de 18 de outubro de 2001, regulariza a oferta de disciplinas não presenciais em cursos presenciais reconhecidos. Este projeto caminha na direção da EAD e da Educação Mediada por Computador (EMC) ao propor a construção e consolidação de uma estrutura digital necessária para a implantação de um Curso de Física Geral I (Mecânica) à distância. Objetiva ainda o preparo do aluno em compreender os fenômenos ensinados e a interpretar as soluções encontradas nas questões e problemas, encaminhando-o para os tópicos mais avançados para os quais esta disciplina é pré-requisito, e por fim, busca apresentar ao aluno os conceitos mais avançados de ensino, com a inclusão no mundo digital pelo uso de *animações interativas*.

Esta dissertação apresenta os resultados já alcançados a partir da produção e aplicação dos recursos pedagógicos, chamados de *animações interativas* (applets de Java e Modellus), como uma ferramenta cognitiva, e sua aplicação para a criação de uma metodologia comum de um curso de Física Geral I presencial e à distância, para se atingir uma aprendizagem significativa. Este trabalho também discute e apresenta os problemas e possíveis soluções para as dificuldades encontradas no aprendizado de Física, e especificamente, sobre o conteúdo referente a disciplina Física Geral I, que de acordo com a ementa, inicia-se por Medição e na sequência tem-se: Cinemática, Dinâmica, Trabalho e Energia Cinética, Conservação da Energia, Conservação do Momento e por fim Colisões. A evidência na abordagem será dada à eliminação do ensino de conteúdos quase sem sentido, ligados arbitrariamente entre si e difíceis de relacionar aos conteúdos pré-existentes na atual estrutura cognitiva dos alunos, provocando uma aprendizagem por memorização, que é certamente esquecida de imediato [56].

Esta dissertação está organizada da seguinte maneira. No Capítulo 2, apresentamos as Teorias Pedagógicas Construtivistas: Teoria Cognitivista de Piaget e Teoria Sócio-Cultural de Vygotsky. Apresentamos a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e a Teoria

da Educação de Novak. Fazemos uma ligação entre as questões filosóficas da mecânica clássica e as teorias construtivistas; discutimos as bases conceituais do construtivismo e determinamos as relações entre o construtivismo e a Tecnologia da Informação e Comunicação. No Capítulo 3, detalhamos a Teoria da Aprendizagem Significativa e a Teoria da Educação. Neste desenvolvimento, abordam-se as formas de aprendizagem e as principais estratégias para a facilitação da aprendizagem significativa. Discute-se uma nova estratégia facilitadora com base na negociação de significados teorizada por Gowin [45], a animação interativa, em um contexto cognitivista, humanista, social, cultural e psicológico. A metodologia de ensino decorrente do uso desta ferramenta cognitiva ou ferramentas da mente pode ser empregada para cada módulo do curso de Física Geral I presencial ou à distância. Isto se deve ao fato de que este método de ensino faz uma reconceitualização do ensino de física e permite uma abordagem comum às duas formas de ensino. No Capítulo 4, apresentamos de forma detalhada a metodologia empregada e discutimos os resultados obtidos. Os resultados incluem as atividades desenvolvidas em busca do conhecimento prévio do aluno, sua evolução conceitual, as opiniões destes aprendizes e as *animações interativas* produzidas para o ensino de graduação e também aquelas desenvolvidas pelos alunos de Licenciatura do Curso de Matemática (período noturno) da UFC a partir das centenas de exercícios resolvidos. Destacam-se as novas formas de avaliação, a elaboração de um livro didático virtual com a apresentação de um material potencialmente significativo e, o mais importante ao nosso ver, a redução da dispersão das notas dos alunos tornando a turma mais homogênea. No Capítulo 5, apresentamos as nossas conclusões e nos Anexos apresentamos exercícios escolares componentes da metodologia de ensino e um modelo de uma aula bem detalhada com o emprego de animações interativas, entendido como organizador prévio, sendo um recurso para a resolução de exercícios e para estudos de idéias, conceitos e proposições.

## Referências Bibliográficas

- [1] HESTENES, D. **Modeling Methodology for Physics Teachers**. Proceedings of The International Conference on Undergraduate Physics Education (College Park), 1996.
- [2] BEICHNER, R. J. Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, v. 62, 750, 1994.
- [3] AGRELLO, D. A; GARG, R. Compreensão de gráficos de cinemática em física introdutória. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.21, n.1,103, 1999.
- [4] BARBETA, V. B.; YAMAMOTO, I. Dificuldades Conceituais em Física Apresentadas por Alunos Ingressantes em um Curso de Engenharia, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.24, n.3, 332, 2002.
- [5] ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Atividades de modelagem computacional no auxílio à interpretação de gráficos da Cinemática, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.26, n.2, 179-184, 2004.
- [6] FIOLHAIS, C. e TRINDADE, J. Física no Computador: o Computador como uma Ferramenta no Ensino e na Aprendizagem das Ciências Físicas, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.25, n.3, 259-272, 2003.
- [7] MAGALHÃES, M. G. M.; SCHIEL, D.; GUERRINI, I. M.; MAREGA Jr., E. Utilizando Tecnologia Computacional na Análise Quantitativa de Movimentos: Uma Atividade para Alunos do Ensino Médio, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.24, n.2, 97-102, 2002.
- [8] SCHERER, D.; DUBOIS, P.; SHERWOOD, B. VPython: 3D Interactive Scientific Graphics for Students, *Computing in Science and Engineering*, Sept./Oct, 82-88, 2000.
- [9] TEODORO, V. D. From formulae to conceptual experiments: interactive modeling in the physics sciences and in mathematics. In: INTERNATIONAL CoLos CONFERENCE NEW NETWORK-BASED MEDIA IN EDUCATION, 1998, Maribor, Eslovênia. [S.l.: s.n.], p. 13-22, 1998.
- [10] MASON, R. and WELLER, M. Factors affecting student's satisfaction on a Web course. *Australian Journal of Education Technology*, 16 (2), 173-200. 2000.
- [11] MOREIRA, M. A. **Teorias da Aprendizagem**. Editora Pedagógica e Universitária, 1999.
- [12] SKINNER, B. F. **The Technology of Teaching**. New York: Appleton Century-Crofts, 1968.
- [13] PIAGET, J. **Psicologia da Inteligência**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1977.
- [14] VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 1987.
- [15] AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**, Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 2ª edição, 1980.
- [16] NOVAK, J. D. **Uma teoria da educação**. São Paulo: Pioneira. Tradução de M. A. Moreira do original **A theory of education**. Ithaca, N. Y.: Cornell University Press, 1977.

- [17] ROGERS, C.; KINGET, M. **Psicoterapia e Relações Humanas**. Belo Horizonte, 1977.
- [18] CHELLMAN, A. C.; DUCHSTEL, P. The ideal online course. *British Journal of Educational Technology*. Vol31, Pag229, 2000.
- [19] MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**, Brasília: Editora UNB, 1999.
- [20] MOREIRA, M. A. **Uma abordagem cognitivista ao Ensino de Física**. Porto Alegre: Editora da Universidade, UFRGS, 1983.
- [21] BERNAL, J. *Science in History*, 4 vols., Middlesex, Penguin Books, 1969.
- [22] PTOLOMEU, C. **The Almagest**. Encyclopaedia Britannica, Great Books, Vol. 16, Chicago, 1952.
- [23] SAVIANI, D. **A filosofia na formação do Educador**. In: DIDATA. N<sup>o</sup> 1, 1975, pp. 63-77, por Roberto Goto, vol. 3, n<sup>o</sup> 5/6, pp. 273-278, 1989.
- [24] JONHSON, P. **La historia del cristianismo**. Buenos Aires: Editora Javier Vergara, 1989.
- [25] COPERNIC, N. **On the Revolution of the Celestial Spheres**. Encyclopaedia Britannica, Great Books, Vol. 16, Chicago, 1952.
- [26] KEPLER, J. **The Harmonies of the World**. Encyclopaedia Britannica, Great Books, Vol. 16, Chicago, 1952.
- [27] GALILEI, G. **Discoveries and Opinions of Galileo**. New York: Doubleday Anchor, 1957.
- [28] GALILEI, G. **Duas Novas Ciências**. São Paulo: Ed. Nova Stella, 1984.
- [29] GALILEI, G. **A Mensagem das Estrelas**. Museu de Astronomia, Rio de Janeiro, 1987.
- [30] NEWTON, I., **Principia - Princípios matemáticos de filosofia natural (livro 1)**, (trad.: Trieste Ricci, Leonardo Gregory Brunet, Sônia Terezinha Gehring; Maria Helena Curcio Célia). São Paulo: Edusp, 325 p., 2002.
- [31] FITAS, A. J. S. **Os Principia de Newton, alguns comentários** (Primeira parte, a Axiomática), Vértice, 72, 61-68, 1996.
- [32] NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 1 - Mecânica**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2<sup>a</sup> edição, 1993.
- [33] SCHWARTZMAN, S. **A Formação da Comunidade Científica no Brasil**. São Paulo: Editora Nacional, 1979.
- [34] NARDI, R. (org.). **Pesquisa no ensino de Física**. São Paulo: Escrituras Editora, 2<sup>a</sup> Edição, 2001.
- [35] SANT`ANA, V. M. **Ciência e Sociedade no Brasil**. São Paulo: Editora Símbolo, 1987.
- [36] SCHULTZ, D. **História da Psicologia Moderna**. São Paulo: Editora Cultrix, 1975.
- [37] DAVIDOFF, L. L. **Introdução à Psicologia**. São Paulo: McGraw-Hill, 1983.
- [38] ANASTASI, A. **Testes Psicológicos**. Tradução: Dante Moreira Leite. Coleção Ciência do Comportamento. São Paulo: Editora da USP, 1964.

- [39] GARDNER, H. **Estrutura da Mente: A Teoria das Inteligências Múltiplas**. Porto Alegre: Artes Médicas, Sul, 1994.
- [40] LUCKEZI, C. **Avaliação da Aprendizagem Escolar**. São Paulo: Cortez Editora, 1995.
- [41] BATTRO, A. M. **O Pensamento de Jean Piaget**. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1976.
- [42] CHIAROTTINO, Z. **A Teoria de Jean Piaget e a educação**. São Paulo: Papelivros, 1986.
- [43] VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 2ª edição, 1988.
- [44] AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicología educativa**. México: Edit. Trillas, 7ª reimpresión, 1995.
- [45] GOWIN, D. B. **Educating**. Itacha, N. Y.: Cornell University Press, 1981.
- [46] ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Atividades de modelagem computacional no auxílio à interpretação de gráficos da Cinemática. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.26, n.2, 179-184, 2004.
- [47] PIAGET, J., **The equilibration of cognitive structures, the central problem of intellectual development**. Chicago (USA): University of Chicago Press, 1985
- [48] MASON, R. Models of online Courses. *Asynchronous Learning Networks Magazine* Volume 2, issue 2. Outubro 1998.
- [49] FIOLHAIS, C. e TRINDADE, J. Física no Computador: o Computador como uma Ferramenta no Ensino e na Aprendizagem de Ciências Físicas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 25, Nº 3, 2003.
- [50] NOGUEIRA, J. de S.; RINALDI, C.; FERREIRA, J. M.; PAULO, S. R. de. Utilização do Computador como Instrumento de Ensino: Uma Perspectiva de Aprendizagem Significativa. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 22 Nº 4, 2000.
- [51] MASON, R. From distance education to online education. *The Internet and Higher Education*, Vol3, p. 63-74, 2000.
- [52] BRITISH COLUMBIA OPEN UNIVERSITY. Disponível em: <<http://www.ola.bc.ca>>. Acesso em: 02 de janeiro de 2005.
- [53] MURDACH UNIVERSITY PERTH, Western Australia. Disponível em: <[http://www.tcl.murdoch.edu.au/ed\\_dev.html](http://www.tcl.murdoch.edu.au/ed_dev.html)>. Acesso em: 02 de janeiro de 2005.
- [54] DISTANCE LEARNING AT THE UNIVERSITY OF FLORIDA. Disponível em <<http://www.distancelearning.ufl.edu>>. Acesso em: 02 de janeiro de 2005.
- [55] THE OPEN UNIVERSITY OF HONG KONG (OUHK), Disponível em: <<http://www.ouhk.edu.hk>>. Acesso em: 02 de janeiro de 2005.
- [56] SANTOMÉ, J. T. **Globalização e interdisciplinaridade**. O Currículo Integrado. Porto Alegre: Artes Médicas, 275p., 1998.

# Capítulo 2

## Teorias Pedagógicas e Teorias Físicas: uma reconciliação integrativa

### 2.1. Introdução

Neste Capítulo fazemos uma ligação entre as questões filosóficas da Mecânica Clássica e as Teorias Construtivistas. Discutimos as bases conceituais e filosóficas do construtivismo. Apresentamos a teoria cognitivista de Piaget, a teoria sócio-cultural de Vygotsky, a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e a teoria da educação de Novak, que tem a aprendizagem significativa como conceito chave. Nesta teoria é acrescentada uma conotação humanista. Determinamos as relações entre o construtivismo e a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC). E para finalizar, sendo as *animações interativas* um produto da TIC, mostramos o potencial destas ferramentas como apoio pedagógico ao ensino de Física e especificamente nesta dissertação para os conteúdos associados a Física Geral I.

Este Capítulo procura mostrar que os pressupostos filosóficos para a elaboração das leis de Newton são englobados pela filosofia construtivista e desse modo para a interligação entre as Teorias Físicas e as Teorias Pedagógicas, um processo dialético se estabelece e podemos facilmente interagir entre estas áreas do conhecimento: Ciências Exatas e da Natureza e com as Ciências Humanas e Sociais. Verifica-se então que a relação simbólica entre a Física e o humano-cognitivo se estabelece por intermédio de uma ferramenta que emprega a simbologia matemática para a comunicação, sendo que a interpretação simbólica se desenvolve a luz da identificação do objeto na linguagem computacional (conceito na linguagem do ensino) em um processo interativo controlável. Atualmente, estas ferramentas são chamadas de objetos de aprendizagem. A reconciliação integrativa é o processo pelo qual procuramos apresentar as relações entre elementos aparentemente sem qualquer interligação.



## 2.2. Questões filosóficas das leis de Newton e o Construtivismo

Historicamente, os temas relacionados à Física Geral I, por exemplo, Cinemática e Dinâmica, apesar de aparentemente simples, têm sido discutido profundamente por envolver questões conceituais e filosóficas complicadas, relativo aos referenciais adotados e empregados para a sua definição. A discussão do movimento retilíneo, como um exemplo prático, apenas faz sentido se tratado dentro de um contexto global, denominado de leis de Newton. Assim, de acordo com Newton em seu livro Principia [1],

*Todo o corpo permanece no seu estado de repouso, ou de movimento uniforme retilíneo, a não ser que seja compelido a mudar esse estado devido à ação de forças aplicadas.*

Esta é a primeira lei de Newton, datada do século XVII e baseia-se em um conjunto de oito definições prévias que incidem fundamentalmente sobre os conceitos utilizados para elaboração desta e das duas outras leis do movimento [2]. Nas oito definições, Newton introduziu termos ou expressões como: *quantidade de matéria* ou massa; *quantidade de movimento*; inércia (*vis inertiae*) ou força de inatividade; força aplicada (*vis impressa*); força centrípeta. A segunda lei estabelece que

*A variação da quantidade de movimento é proporcional à força motriz aplicada; e dá-se na direção da reta segundo a qual a força está aplicada.*

De acordo com Newton, a terceira lei nos diz que,

*A toda ação sempre se opõe uma reação igual; ou, as ações mútuas de dois corpos são sempre iguais e dirigidas às partes contrárias.*

Da análise das três leis, vemos uma relação entre termos, ou grandezas, tais como: movimento uniforme retilíneo, variação da quantidade de movimento, indicando a mudança de velocidade, força aplicada, ação e reação. Daí ao definir, por exemplo, a primeira lei, Newton deparou-se com um problema ainda mais sério que aquele de definir os conceitos de repouso ou de movimento. Vejamos, um corpo está em repouso ou movimento em relação a alguma coisa, ou melhor, só podemos diferenciar tais estados dinâmicos quando definirmos com clareza os referenciais adotados. O comentário de Newton a esta definição termina do seguinte modo: (...) *movimento e repouso, tal como são vulgarmente entendidos, só se podem distinguir de uma forma relativa, nem estão verdadeiramente em repouso os corpos que comumente são tidos como tal* [3]. A noção relativa de movimento, bem como o repouso entendido como um estado particular do movimento, deve ser referenciada a algum lugar ou a alguma coisa.

O local ou alguma coisa terá características imutáveis ou imóveis. Na verdade, não se conhece nenhuma estrutura, astro, ou um corpo que atenda a estas condições. Assim, uma indagação poderá ser levantada: será que não existe um sistema qualquer em relação ao qual todos os outros se movem? De acordo com Newton,

*num raciocínio filosófico temos obrigação de nos abstrairmos dos nossos sentidos, e considerar as coisas em si, distintas das suas medidas,*

ou seja, em última análise existirá um espaço absoluto imóvel que corresponde ao sistema de eixos absolutos e não está ao nosso alcance, baseados no conhecimento limitado de uma região do espaço [2].

O sistema de eixos empregados como os eixos de referência não são fixos ou únicos para cada fenômeno observado. Utiliza-se, então um critério individual ou uma definição que facilite a obtenção do modelo representativo do fenômeno. Exige-se, portanto, uma intuição física para criar mentalmente este sistema que melhor se adapte a realidade observada (quando é possível) e melhor mapeie o fenômeno em suas considerações numéricas.

É evidente que o foco nos conceitos que aparecem nas leis de Newton não estão dissociados de outras grandezas como momento linear e energia. Isto está claro, visto que a relação entre força e quantidade de movimento linear é a própria segunda lei de Newton, enquanto a energia cinética pode ser escrita como o quadrado da quantidade de movimento linear dividido pelo dobro da massa. As grandezas são avaliadas dentro de um contexto denominado de referenciais inerciais, assim, observadores diferentes medirão o mesmo valor para a aceleração de um determinado móvel e em conseqüência o mesmo valor de força para uma massa constante. Para referenciais não-inerciais, as forças são fictícias, pois contrariam as primeira e terceira leis, no entanto, ainda aplicamos a segunda lei para a solução do problema. Apresenta-se aqui mais um complicador: a introdução de movimento de rotação. As grandezas aceleração e força apresentam agora valores relativos a interpretação de cada um dos observadores: um fixo e um móvel. Notadamente a ausência de uma força de reação é verificada.

A formulação original da segunda lei de Newton indicando que a força é uma grandeza proporcional à variação da quantidade de movimento é válida, inclusive, para sistemas com massa variável, quando a mesma é adicionada ao sistema do repouso [4]. Para velocidades muito altas ou relativísticas, em que a massa depende da velocidade, são observados desvios à formulação original da segunda lei. A idéia mais geral, a relatividade, implica em reflexões ainda mais profundas, tais como: o tempo e o espaço são conceitos relativos. Isto é contrário aos conceitos newtonianos, que admite um caráter absoluto para

estas grandezas. Neste novo patamar teórico, em que se reproduz a mecânica newtoniana em baixas velocidades, exige ainda mais da capacidade de raciocinar por não se referir a questões do senso comum.

Em se tratando de observações do cotidiano, onde as velocidades são baixas e a variação de massa é desprezível, ainda assim, a interpretação dos fenômenos a luz da mecânica clássica dá margens a geração de erros conceituais. Para o senso comum, facilmente pode ser questionada a validade da primeira lei, onde dizemos que a velocidade de um móvel é constante na ausência de força resultante. Para a segunda lei, acredita-se que a força resultante é proporcional a velocidade e não a aceleração, contrariando a análise teórico-experimental aceita cientificamente. A terceira lei é constantemente mal interpretada por admitirem a existência de forças de ação e reação atuando em um mesmo objeto.

Os resultados experimentais obtidos por Galilei e as próprias leis de Kepler eram suficientes para a elaboração de tais leis. No entanto, a dificuldade maior residia na criação de modelos matemáticos representativos dos fenômenos físicos em questão. Para tanto, a explicação dos significados dos conceitos elaborados componentes das proposições eram importantes, mas apresentou-se como um mistério para Newton. A própria noção sobre quantidade de matéria ou massa é definida como o produto da densidade (outra grandeza não definida) pelo volume, ou nas colocações do Newton, (...) *E é a esta quantidade que, a partir de agora, passarei a designar por corpo ou massa; é proporcional ao peso, como eu determinei por experiências com pêndulos (...)* [2]. A relação entre a massa inercial e a massa gravitacional foi aceita por ser fato experimental e na mecânica newtoniana é uma simples coincidência [5].

Apesar da fundamentação empírica das leis dinâmicas de Newton [6], para a elaboração de tais leis, fez-se necessário à introdução de novos conceitos e significados que mudaram a visão do mundo. De acordo com Blanché [7], a natureza epistemológica da física clássica ou física newtoniana, pode ser dividida em três partes:

**Uso do raciocínio hipotético-dedutivo:** Esta construção é o resultado da interação entre o intelecto e a natureza, onde a construção das leis corresponde a uma visão científica realista. As demonstrações de Newton são puramente geométricas, exigindo-se então esta capacidade formal de desenvolvimento intelectual;

**O tratamento matemático dos fenômenos naturais:** A preocupação geral é reduzir os fenômenos naturais a uma simples representação matemática, que nem sempre é fácil de se conseguir (vejamos as questões relacionadas à constituição da matéria). Elabora-se, então, um modelo matemático para representar o fenômeno

físico e dessa forma poder simular e prever o futuro a partir das condições iniciais inerentes ao problema em estudo;

**O recurso da experimentação (orientada por hipótese):** No método experimental científico, a experiência cumpre duas funções: reproduzir a hipótese e controlá-la, em condições artificiais especialmente definidoras do fenômeno em situações controladas (modeladas) [8]. No trânsito da ciência antiga à Física Clássica, se passa de uma observação qualitativa direta a uma observação: controlada; reprodutível; precisa; verificável; quantificável e objetiva – na dupla acepção da adequação do objeto e do consenso intersubjetivo [9].

A base conceitual e mental empregada para a elaboração das leis de Newton é complexa. Assim sendo, também apresenta dificuldades os respectivos assuntos que dependem destas leis, exigindo-se uma estrutura de comportamento criador, implicando realizar novas combinações. Exige-se, portanto, de acordo com Piaget uma estrutura mental bem desenvolvida, já que o pensamento hipotético-dedutivo é o responsável pela aquisição de instrumentos de adaptação que lhe possibilitarão enfrentar qualquer perturbação do meio, podendo usar a descoberta e a invenção como instrumentos de adaptação às suas necessidades [10].

O tratamento matemático dos fenômenos naturais é importante para o estudo do desenvolvimento pelo simples fato de ser matemático, porque junto com a lógica formal, a matemática seria a única disciplina inteiramente dedutiva. Tudo nela tem origem na atividade do sujeito. A matemática é a totalidade do que é possível. E, logicamente, a totalidade significa a criação do próprio sujeito [10, 11].

O recurso da experimentação, considerado como uma forma de pesquisa, de acordo com Piaget, extrapola a visão de grupo como um elemento importante na socialização do indivíduo. A interação social fruto do trabalho em grupo, compartilhando idéias, informações, responsabilidades, decisões, apresenta sempre desequilíbrios como fator favorável à motivação intrínseca do aluno. Para a abordagem construtivista, este processo de pesquisa assume um papel primordial, formar as novas noções e operações mentais ou a cognição.

A abordagem construtivista engloba os três pressupostos básicos em que as leis de Newton estão alicerçadas, de modo que podemos interagir com estas leis baseando-nos no ensaio e no erro, na pesquisa, na investigação, na solução de problemas por parte do aluno, e não em aprendizagem de fórmulas, nomenclaturas, definições etc., que se apresentam como alguns dos limitadores do aprendizado significativo. Outros limitadores na visão de

Piaget são: a maioria dos educadores julga ser a lógica, uma capacidade de raciocinar inato ao ser humano e também acredita que a Física deva ser ensinada como se tratasse de verdades acessíveis por meio da linguagem (mais ações fictícias ou narradas) ao invés de se principiar pela ação real ou material [12].

Piaget afirma também que uma das causas da incompreensão dos alunos em tais disciplinas (física e matemática) decorre da insuficiente dissociação entre as questões de lógica e as considerações numéricas ou métricas. Como exemplo típico, em um problema de velocidade, o aluno deve simultaneamente desenvolver um raciocínio voltado para os espaços percorridos e o tempo de duração da observação, efetuar um cálculo com base nos números que exprimem estas quantidades. Enquanto a estrutura lógica do problema não estiver entendida, as considerações numéricas permanecem destituídas de significado e obscurecem a compreensão do sistema de relações [12, 13].

### **2.3. Bases conceituais do Construtivismo**

Segundo Piaget, a ação do indivíduo em sua interação com o meio é o elo essencial para o melhor aprendizado e desenvolvimento cognitivo, fazendo com que ele aprenda com as transformações e mudanças ocorridas. Sendo esta uma teoria puramente interacionista, com o construtivismo sempre se cria algo novo no processo. O conhecimento, para o construtivismo, é uma construção humana de significados que procura fazer sentido no seu mundo físico, do qual os seres humanos são observadores e intérpretes naturais [14]. O construtivismo é uma filosofia da aprendizagem que descreve o que significa saber alguma coisa e o que é a realidade, ou seja, o sentido que fazemos do mundo e do seu fenômeno.

O conhecimento é uma reflexão pessoal do fenômeno observado, com interpretações múltiplas que podem e devem ser compartilhados por outros na comunidade. O aprendiz e a sua interação com o meio modificam a própria percepção do ambiente e também a interpretação das experiências pelo contato com os outros neste espaço. Assim, o conhecimento amplia-se com o aumento das nossas interações com o meio ambiente. Na realidade, não podemos separar nosso conhecimento de qualquer fenômeno das nossas interações com esse fenômeno [15]. Podemos dizer que o conhecimento está amparado nos contextos nos quais os alunos aprendem [16, 17, 18].

O construtivismo poderá ser visto de três diferentes perspectivas [19]:

- (i) Conhecimento
  - Emerge da experiência;

- Significado construído;
  - Subjetivo, contextualizado, fluido;
  - Embutido na ação;
  - Reflete significado pessoal;
  - Embutido na experiência;
  - Complexo, flexível, integrado;
  - Aplicável.
- (ii) Aprendizagem
- Construção do conhecimento;
  - Indexada à experiência;
  - Mal-estruturada; categorias mal-definidas. A visão objetivo-tradicionista, por exemplo, requer uma aprendizagem bem-estruturada, como um “pacote” que poderá ser entregue a todos da mesma maneira;
  - Critérios sem casos prototípicos;
  - Processos complexos;
  - Solução de problemas, experiências autênticas;
  - Articulação e reflexão;
  - Processo orientado;
  - Autêntico-experimental;
  - Conhecimento avançado; flexível.
- (iii) Instrução
- Reflete complexidade natural;
  - Reflete múltipla perspectiva;
  - Aumento da complexidade, diversidade;
  - Global, antes do local. Esta é uma situação de impacto. Normalmente, utilizamos o reducionismo para o ensino de Física, partindo de considerações mais simples, e buscando unir o conhecimento para atingir o mais complexo. Do ponto de vista de uma perspectiva global, devemos apresentar o fenômeno como um todo, e só depois discutir os casos particulares;
  - No alto, indutivo. O aprendizado é muito influenciado pela capacidade de descobrir, sendo dada a aprendizagem por recepção uma importância menor. As informações não são totalmente passadas na sua forma finalizada.

- Indução do significado simbólico, significativo na prática;
- Modelação, treinamento;
- Produzida e controlada pelo aluno;
- Colaborativa, cooperativa.

Embora a Teoria Cognitivista de Piaget enfatize a interação no meio social como facilitadora do aprendizado, esta teoria dá muita ênfase a aprendizagem por descoberta, aparentemente individualizada. Outras concepções construtivistas assumem uma influência social muito preponderante relacionada às peculiaridades das maneiras de aprender das pessoas, das suas características psicológicas, como a psicologia sócio-cultural de Vygotsky; a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e a Teoria da Educação de Novak.

Santomé [20] destaca que Vygotsky em sua teoria sócio-cultural ressalta o papel decisivo desempenhado pelos adultos, pelo meio social e pela instrução na aprendizagem e desenvolvimento humanos. Sendo a aprendizagem profundamente social, as estratégias e conteúdos dos projetos curriculares necessitam adaptar-se ao contexto histórico e cultural da realidade dos alunos. Os adultos são os responsáveis pelo nível de desenvolvimento proximal, ou nível de desenvolvimento em que um determinado estudante poderia chegar além de seu nível real ou atual de aprendizado, como fruto de seu desenvolvimento e experiências prévias. Estas experiências culturais devem ser relevantes, aproveitando-se os conceitos espontâneos de seus alunos, mas estratégias didáticas neste sentido falham, pois as últimas experiências mostram que um bom número de adultos continuam sustentando concepções errôneas sobre muitos fenômenos naturais, sociais, políticos e históricos [21, 22], o que acarreta em uma fragmentação do ensino, com implicações importantes para o aumento da dificuldade de compreensão. Isto se explica pelo fato de que a realidade torna-se menos precisa.

A reconstrução do conhecimento na visão de Ausubel caminha de uma aprendizagem por memorização ou repetitiva à aprendizagem significativa, no modo como as pessoas incorporam o novo conhecimento às suas atuais estruturas cognitivas. Em relação às estratégias didáticas, o ensino caminharia do nível receptivo ao nível de aprendizagem por descoberta autônoma [20]. A aprendizagem significativa implica que os estudantes apresentem idéias inclusoras (teorias, conceitos ou conhecimentos advindos de sua experiência) sobre o conteúdo das tarefas escolares nas quais estão envolvidos, dessa maneira, há uma maior possibilidade de promover o interesse pela aprendizagem e melhorar o comprometimento afetivo das pessoas que aprendem, gerando autoconfiança. Isto pode ser conseguindo através da pesquisa científica, novas músicas ou nova

arquitetura [23] como recursos avançados da aprendizagem por descoberta autônoma para uma verdadeira aprendizagem significativa.

Uma das concepções construtivistas orientadas à pedagogia é a obtenção ou extração das idéias prévias dos estudantes sobre o conteúdo a ser estudado. Segundo Jenkins [24], o entendimento dos estudantes sobre os fenômenos naturais são válidos e devem ser tratados com respeito. Ainda, de acordo com Jenkins, em muitos casos, podem ser usados como ponto de partida para que se alcance os objetivos propostos para a atividade selecionada, podendo esta variar, desde atividades de discussão em sala de aula, até trabalhos experimentais em laboratório.

A noção de alguns conceitos ou entendimento de temas como movimento, força, energia e potência por serem partes de suas experiências diárias são facilitadores para a obtenção das idéias prévias destes alunos. Outros, no entanto, por estarem fora do senso comum ou serem imperceptíveis aos órgãos dos sentidos, como movimento relativo que dão as bases para a validade das leis de Newton ou análise de questões relativo ao centro de massa, íon, radiação eletromagnética, ou mesmo quando são combinações de vários conceitos anteriores que se transformam em fenômenos mais complexos, como movimento harmônico simples e ondas, tanto transversais quanto longitudinais, requerendo uma maior capacidade de abstração, com aprofundamentos de conceitos e de ferramentas matemáticas, torna-se mais difícil que seja adotado o procedimento de levantamento das idéias dos alunos, senão impossível [24].

Para a abordagem ausubeliana [25], este processo de identificação é mais aprofundado de modo que possamos não só identificá-lo mais manipulá-lo para a aquisição de uma aprendizagem significativa. Segundo Ausubel [26],

*a essência do processo de aprendizagem significativa é que idéias simbolicamente expressas sejam relacionadas de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária ao que o aprendiz já sabe, ou seja, a algum aspecto de sua estrutura cognitiva especificamente relevante para a aprendizagem dessas idéias. Este aspecto especificamente relevante pode ser, por exemplo, uma imagem, um símbolo, um conceito, uma proposição, já significativo.*

A identificação deste aspecto relevante poderá ser executada através de organizadores prévios. De acordo com Ausubel [27], *a principal função do organizador prévio é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele precisa saber para que possa aprender significativamente a tarefa com que se depara, através de materiais introdutórios que são geralmente apresentados previamente, antecedendo ao próprio*



material que deverá ser aprendido. Os organizadores prévios são úteis para facilitar a aprendizagem na medida em que funcionam como *pontes cognitivas*, apresentando um grau de abstração, generalidades e de inclusividade em um nível superior ao material didático apresentado em sala de aula, estando muito além de serem simples resumos do material ou visões gerais do assunto [28]. Podem ser textos escritos, uma discussão, uma demonstração ou um filme.

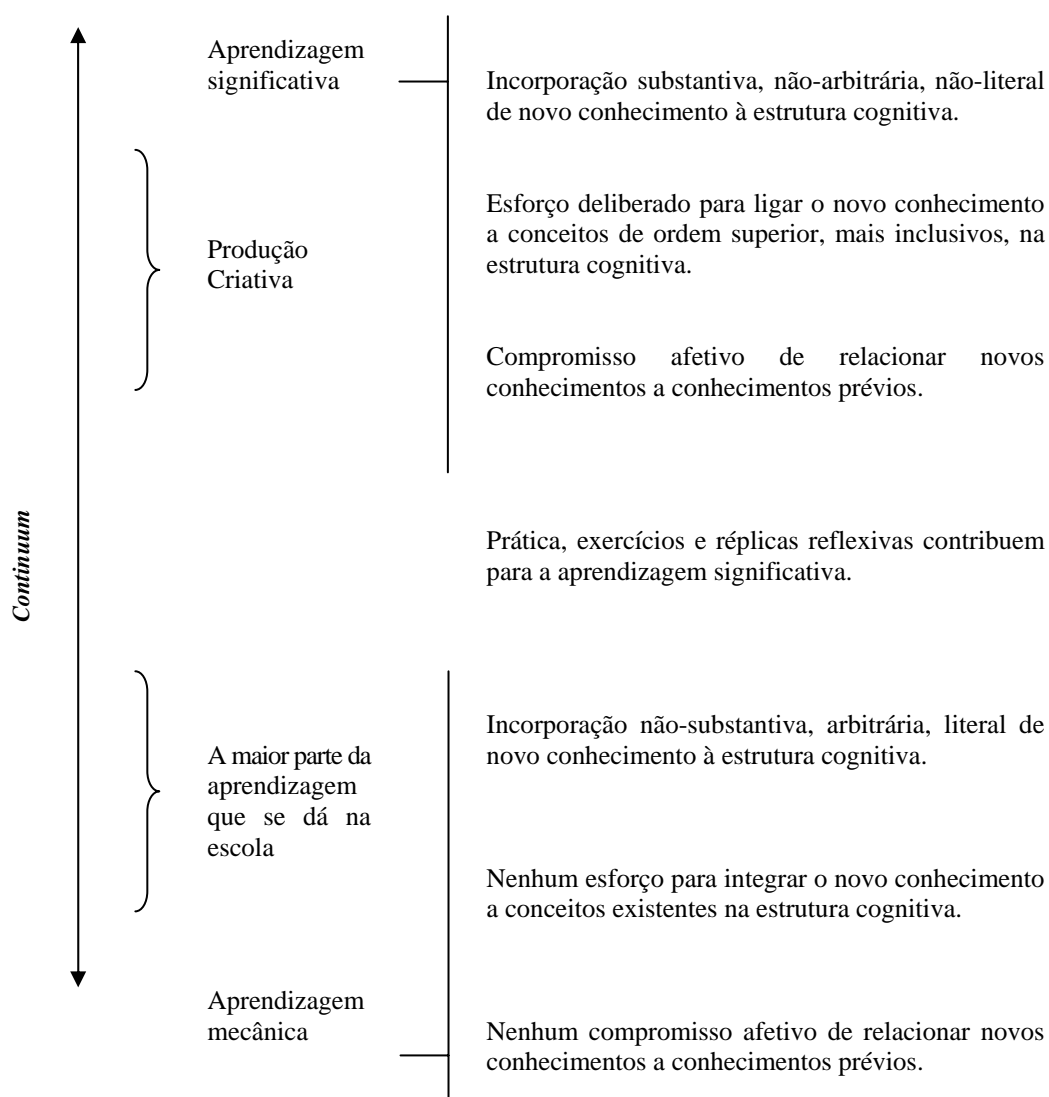
A aprendizagem significativa se estabelece quando o significado lógico do material de aprendizagem se transforma em significado psicológico para o aprendiz, ou seja, na presença de conceitos subsunçores apropriados, um conceito, idéia ou proposição já existente na estrutura cognitiva, este pode atribuir significados às novas informações. Diferentemente do comportamentalismo, cujo ensino e a aprendizagem eram examinados como estímulos, respostas e reforços, a aprendizagem significativa procura enfatizar os significados.

A Aprendizagem Significativa ocorre quando a nova informação “ancora-se” em conhecimentos especificamente relevantes (subsunçores) pré-existentes na estrutura cognitiva. Novas idéias, conceitos, proposições podem ser aprendidos significativamente (e retidos) na medida em que outras idéias, conceitos, proposições relevantes e inclusivos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do indivíduo e funcionem, dessa forma, como ponto de ancoragem para os primeiros.

A aprendizagem significativa caracteriza-se, pois, por uma interação (não por uma simples associação) entre os aspectos específicos e relevantes da estrutura cognitiva e as novas informações. Por meio dessa interação essas novas informações adquirem significado e são integradas à estrutura cognitiva de maneira não-arbitrária e não-literal (sem a rigidez do ensino tradicional). Este aspecto encaminha-nos para um ensino construtivista e, com a promoção de mudança conceitual para facilitar a aprendizagem significativa. Esta alteração de comportamento contribuirá para a diferenciação, elaboração e estabilidade dos subsunçores pré-existentes e, conseqüentemente, da própria estrutura cognitiva.

A Fig. 2.1 [28] apresenta um *continuum* representativo da passagem da aprendizagem mecânica à aprendizagem significativa. A aprendizagem mecânica diferentemente da aprendizagem significativa ocorre quando as novas informações no contexto do ensino são apreendidas praticamente sem interagir com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva de maneira arbitrária e literal. A conotação humanista, compromisso afetivo de relacionar os conhecimentos prévios aos novos, além da conotação cognitivista na visão de Ausubel, deve-se a Novak [28] em sua teoria da educação.

De acordo com Novak, a aprendizagem significativa subjaz a integração construtivista entre pensamento, sentimento e ação, que conduz ao engrandecimento humano. Nesta teoria da educação, a aprendizagem significativa de Ausubel é um conceito chave, considerando que os seres humanos *pensam, sentem e agem*. Para Novak um *evento educativo* deve ser baseado na *ação* para a troca de *significados* (pensar) e *sentimentos* entre o aprendiz e o professor.



**Figura 2.1.** O *continuum* aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa representam o salto de qualidade para a verdadeira aquisição do conhecimento.

Podemos enfatizar que um fenômeno educativo na visão de Schwab [29] e complementado por Novak [30] admite cinco elementos: *aprendiz, professor, conhecimento, contexto e avaliação*. Assim, em um evento educativo, alguém (*aprendiz*) aprende algo (*adquire conhecimento*; ocorre troca de significados e sentimentos) com alguém (*professor*)

ou com alguma coisa (*um livro ou um programa de computador*, por exemplo) em um certo contexto (*em uma escola, uma sociedade, uma cultura, um regime político*), com implicações para a qualidade da *avaliação* da aprendizagem do aprendiz, do desempenho do professor, do grau de significância do conhecimento e do efeito do contexto [28].

Um dos princípios (proposições norteadoras) da Teoria de Novak nos diz que o conhecimento humano é construído; a aprendizagem significativa subjaz a essa construção. Este princípio enfatiza que a teoria da educação de Novak, que é uma teoria cognitivista e também humanista, tem a base psicológica calcada nas idéias e filosofia da abordagem construtivista.

## **2.4. Construtivismo e a Tecnologia da Informação e Comunicação**

A premissa pedagógica mais utilizada quando se usa a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) é baseada no construtivismo. O construtivismo assume fundamentalmente a idéia de que o indivíduo é agente ativo de seu próprio conhecimento, isto é, ele constrói significados e define o seu próprio sentido e representação da realidade de acordo com suas experiências e vivências em diferentes contextos. Wilson [31] define algumas finalidades de um ambiente construtivista de aprendizagem via computador usada em Educação à Distância a partir dos princípios teóricos desse enfoque:

- (i) Possibilitar ao participante a decisão sobre tópicos e sub-tópicos do domínio a serem explorados, além dos métodos de estudo e das estratégias para a solução de problemas;
- (ii) Oferecer múltiplas representações dos fenômenos e problemas estudados, possibilitando que os participantes avaliem soluções alternativas e testem suas decisões;
- (iii) Envolver a aprendizagem em contextos realistas e relevantes, isto é, mais autênticos em relação às tarefas da aprendizagem;
- (iv) Colocar o professor/tutor no papel de um consultor que auxilia os participantes a organizarem seus objetivos e caminhos na aprendizagem;
- (v) Envolver a aprendizagem em experiências sociais que reflitam a colaboração entre professores-alunos e alunos-alunos.

Wilson ainda classifica como ambientes mais ricos e compatíveis com a aprendizagem construtivista àqueles que colocam o aluno no controle do processo de

aprendizagem e que, para tanto possuem elementos como “kits” para construção e exemplos de fenômenos a serem estudados.

Experiências autênticas, atraentes e reflexivas fruto da criação de meios ambientes colaboracionistas que se aplicam ao ensino, tem amparo nos princípios construtivistas, tais como: flexibilidade, ação, construção do conhecimento, interação com o meio, pesquisa e desenvolvimento cognitivo. Com estes pressupostos, as atividades em comunidade encaminham-se para o descobrimento dos significados e do entendimento da realidade através de práticas relevantes.

As novas tecnologias mediadas por computador como os meios ambientes de aprendizagem significativa e as ferramentas cognitivas, tem o potencial de afastar a educação dos métodos instrucionais tradicionais, tanto em sala de aula quanto a distância em direção a uma aproximação da instrução centrada no aluno [32]. Esta instrução não mais enfatiza o professor como a fonte e o arbítrio de todo o conhecimento [33, 34, 35]. Segundo Ramal [36], nas escolas e universidades, o pedagogo começa a assumir um novo perfil. A tecnologia não permite que se sustente mais, o mestre – transmissor de conteúdo – isso pode ser feito, a partir de agora, por softwares interativos mais completos, abrangentes e dinâmicos.

As ferramentas cognitivas são ferramentas de computador que têm a pretensão de envolver e facilitar o processo cognitivo, também chamadas ferramentas da mente [14]. As ferramentas cognitivas são aparelhos mentais e computacionais que apóiam, orientam e estendem os processos de pensamento dos seus usuários [37]. Os computadores como ferramentas cognitivas representam a aprendizagem com tecnologia, onde o aluno tem acesso a uma parceria intelectual com o computador [38]. As ferramentas cognitivas inseridas no processo de construção do conhecimento podem ser elaboradas através de bancos de dados, redes semânticas<sup>4</sup>, spreadsheets<sup>5</sup>, sistemas técnicos, conferências pelo computador, construção de multimídia-hipermídia, programa de computador e ambientes de aprendizagem [19]. Estes ambientes de aprendizagem, de acordo com Wiggins [39], devem ser:

- (i) Constituídos de problemas ou de questões relevantes, nos quais os estudantes devem construir o conhecimento a fim de moldar desempenhos afetivos;
- (ii) As tarefas são réplicas de problemas enfrentados por cidadãos, consumidores ou profissionais da área, isto é, são reais;

---

<sup>4</sup> Um conjunto de relações entre objetos (conceitos) formando uma estrutura em analogia à estrutura cognitiva. A programação orientada a objetos busca a inter-relação entre conceitos ou na linguagem computacional, a inter-relação entre objetos.

<sup>5</sup> Um programa de computador que pode mostrar e calcular informações sobre vendas, impostos, lucros etc.

- (iii) As considerações devem ser feitas para proporcionar ao estudante acesso aos recursos comumente disponíveis àqueles comprometidos nos testes reais análogos à vida.

Um ambiente de aprendizagem excitante, tem sua base teórica fornecida pelo construtivismo. Estes ambientes podem incluir o apoio do computador para desenvolver ferramentas da mente como instrumento de reflexão do conhecimento, ao mesmo tempo em que estes podem envolver combinações de trabalho colaborativo, sistema de apoio ao desempenho eletrônico, exploração proposital da Internet, simuladores, hipermídia e o desenvolvimento de Web Pages, ambientes de aprendizagem interativa e apoio do computador a aprendizagem colaborativa [19].

Um ambiente nestes moldes poderá ser desenvolvido por aplicações da TIC, representada por uma Linguagem de Programação (JAVA) que é de acordo com Ken e Gosling [40], um ambiente de desenvolvimento (uma nova arquitetura), com orientação a objetos, representativos do mundo real, e a Internet, sistemas distribuídos, alta capacidade para o desenvolvimento de sistemas paralelos, sistemas interativos, criação de jogos, programação em 3D, execução de outras linguagens e de outros aplicativos, inclusive o Modellus, e um ambiente orientado a multimídia-hipermídia. Ainda, permite a interatividade controlada pelo usuário e a interação entre eles através de uma atividade específica ou comunicação cliente-servidor [41]. O próprio JAVA, Python ou Modellus, como o exemplo do potencial da programação orientada a objetos, segue o paradigma no qual a arquitetura de programação busca atingir a semelhança e o funcionamento do cérebro e assim, as características do pensamento humano. Tal paradigma tem feito com que este desenvolvimento das linguagens de programação busque suporte teórico em pesquisas sobre inteligência artificial e sobre as ciências cognitivas [42].

O Construtivismo pode fazer uma reconceitualização do ensino local ou à distância pela incorporação de novas tecnologias pelo uso do computador, para alterar de maneira significativa o modo como o conduzimos [43]. De um modo geral e em uma primeira análise podemos citar 3 (três) ganhos com o uso do computador no processo educativo, de acordo com Feitosa [44]: maior agilidade (tempo), informações de fácil acesso e novas possibilidades para a criação de instrumentos didáticos.

As animações mostram-se capazes de contribuir para a melhor exposição de fenômenos físicos que variem com o tempo, de tal forma que o processo pedagógico possa tornar-se mais direto. Como auxílio aos recursos da linguagem, do giz, do quadro e do laboratório real, o apoio de elementos dinâmicos que possam ser vistos ou manipulados

pelos alunos, de acordo com Castro [45], facilita o contato dos estudantes com as idéias centrais que se pretende apresentar. Daí, o importante recurso, o laboratório virtual, facilitaria a comunicação professor-aluno.

Esta ferramenta trouxe dinamismo, eficiência, possibilidade de controle do aprendizado, favorecimento de intercâmbios e troca de experiências localmente e a longas distâncias. As comunicações on-line não impõem um mecanismo de tempo ou controle de horário [46] dando muita liberdade ao usuário e ao mesmo tempo, sua atenção é direcionada para a atividade específica no computador, com aumento da concentração, facilitando o aprendizado.

## **2.5. A Animação Interativa como um recurso pedagógico**

A animação interativa tem se configurado como uma possibilidade alvissareira no processo ensino-aprendizagem de Ciências Naturais de modo geral e de Física de modo particular [47, 48]. Uma animação se caracteriza por mostrar a evolução temporal de um dado evento, e se presta de maneira exuberante para a exposição de fenômenos que se apresentam intrincados para aqueles alunos que não têm uma percepção visual aguçada ou uma capacidade de abstração sofisticada. Podemos citar como exemplo a grande dificuldade em expor um conteúdo como o movimento das partículas relativo ao centro de massa, usando como recurso apenas giz e quadro, em comparação com a facilidade em que esse tópico é apresentado através das animações. Muitos outros exemplos podem ser analisados e avaliados na observação das inúmeras animações existentes na Rede Mundial de Computadores, tais como Fendt [49], García [50], Huang [51] e Reddy [52].

Várias Ciências Naturais lidam com o desconhecido criando modelos (ou teorias) que deverão ser confirmados em testes experimentais – e essa é a essência do Método Científico. As animações pedagógicas utilizam os modelos científicos para criar uma realidade virtual que tenta representar, nos limites de validade de cada modelo, como um fenômeno se mostra na natureza e apresentar ao aluno o comportamento dinâmico desse fenômeno. Assim colocado, a animação apresentaria ao aluno os significados “corretos” aceitos pela comunidade de ensino criando-se a possibilidade de discussão e questionamentos sobre o fenômeno e suas características.

O sucesso no processo ensino-aprendizagem através da modelagem sugere que crenças errôneas dos estudantes, tais como: o conceito pré-newtoniano muito presente na

mente da maioria dos alunos, de que a força (resultante de todas as forças que agem sobre uma partícula) é proporcional a velocidade [26, 53], é tratada de maneira mais eficiente usando-se as animações pedagógicas [54]. E desse modo o aproveitamento escolar como um todo será substancialmente melhorado devido à elucidação das crenças mencionadas e com a presença dos conceitos claramente delineados pelas animações. Nesta situação poderemos empregar a animação interativa como um organizador prévio. A escolha de um organizador prévio depende da situação da aprendizagem e muitos modelos foram propostos [26]. Nesta dissertação, o modelo apresentado é a animação interativa, definida como:

*Programa de computador que simula os fenômenos físicos modelados matematicamente em que o aprendiz através da ação modificará a animação para atender a seus objetivos gerais ou específicos, com uma instrução individualizada bem programada, em que se dá a clarificação de relação entre conceitos, envolvido em um contexto de criação artística ou de pesquisa científica, de modo que o significado lógico seja incorporado como significado psicológico pela estrutura cognitiva do aprendiz.*

Nesta visão, as animações interativas seriam capazes de facilitar a aprendizagem significativa e de exercer a principal função dos organizadores prévios, ou seja, de acordo com Moreira [25], *superar o limite entre o que o aluno já sabe e aquilo que ele precisaria saber, antes de poder aprender a tarefa apresentada, permitindo prover uma moldura ideacional para incorporação e retenção do material mais detalhado, e diferenciado que se segue na aprendizagem.*

Estas animações interativas enquadram-se no conceito de ferramentas computacionais capazes de auxiliar a construção do conhecimento [55, 56] e podem ser usadas para dar significado ao novo conhecimento por interação com significados claros, estáveis e diferenciados previamente existentes na estrutura cognitiva do aprendiz [26]. As ferramentas cognitivas são aplicações de computador que exigem dos estudantes a interpretação e organização do conhecimento pessoal a fim de usá-los, de modo que os estudantes não podem usar estas ferramentas sem pensar profundamente sobre o conteúdo que estejam estudando, e se escolherem usar estas ferramentas para auxiliá-los a aprender, elas facilitarão a aprendizagem e os processos de criação do significado [19].

Na medida em que se dá a revelação de significados, as animações interativas seriam de acordo com a aprendizagem significativa, um organizador prévio. Assim, poderiam atuar sobre os subsunçores, tidos como sendo idéias, conceitos, entendimento, proposição, ou de acordo com Ausubel [25], atuaria em uma estrutura específica ao qual

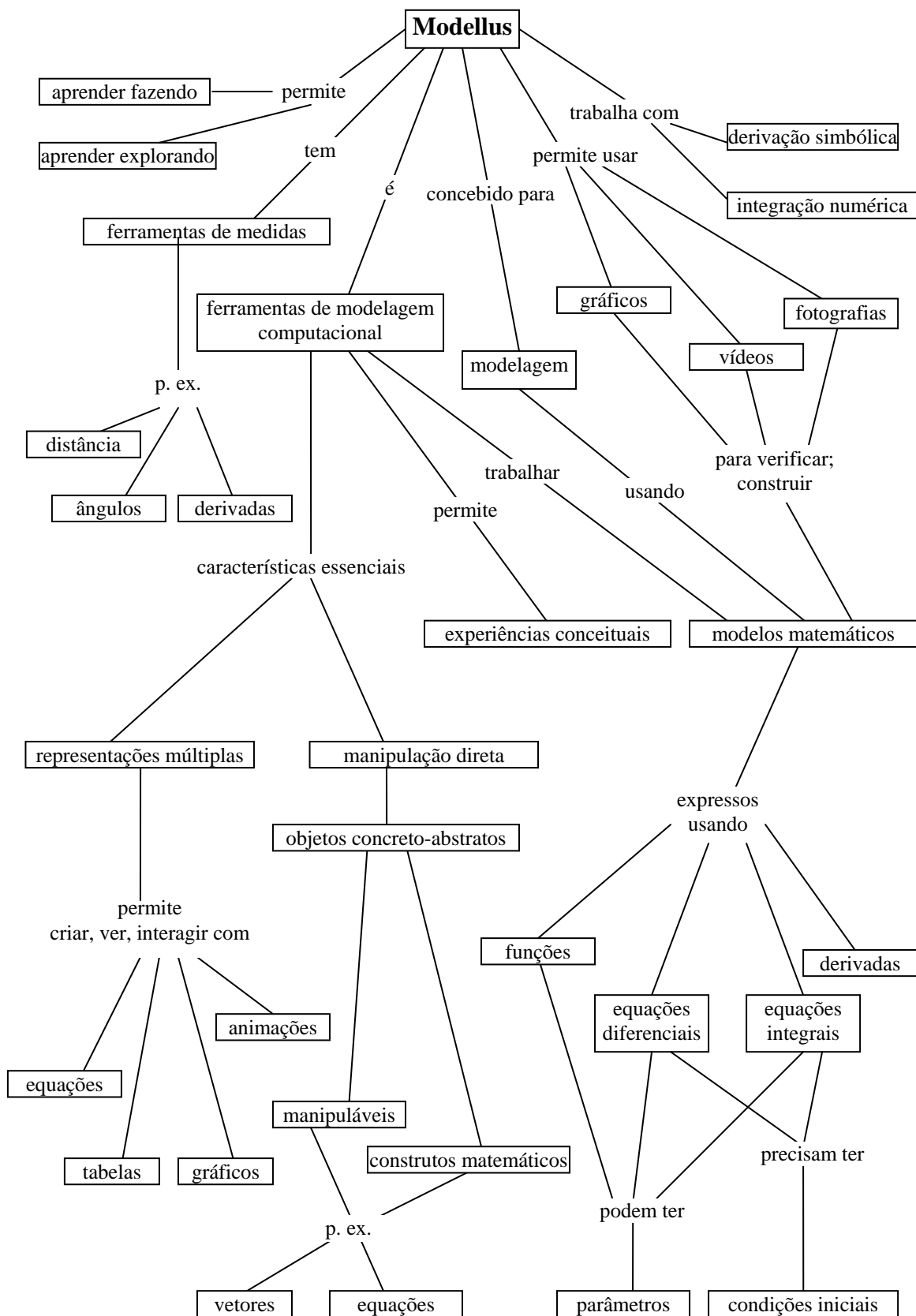
uma nova informação pode se integrar ao cérebro humano, que é altamente organizado e detentor de uma hierarquia conceitual que armazena experiências prévias do aprendiz e permitir a aquisição de novas estruturas cognitivas para facilitar o aprendizado significativo.

As animações interativas, entre elas, o Modellus [57], assim como outras ferramentas computacionais, os Applets de Java, permitem ao usuário fazer e refazer representações, explorando-as sobre as mais diversas perspectivas, facilitando a familiarização com essas múltiplas representações e estabelecendo a comunicação entre elas (as representações) e o aprendiz como afirmam Veit e Teodoro [58]. Assim colocado, teríamos uma ferramenta potencialmente significativa que faria a conexão entre o significado lógico e o significado psicológico necessário para se atingir uma aprendizagem significativa [27]. Ainda de acordo com Veit e Teodoro, um mapa cognitivo representativo dessa ferramenta, o aplicativo Modellus, pode ser visualizado na Fig. 2.2.

O computador pode ser usado desconectado da Internet como um aparato capaz de gerenciar o fluxo de dados ou a execução de um aplicativo proprietário, por exemplo, o aplicativo Modellus, usado em animações pedagógicas de Física e outras áreas do conhecimento. O fluxo de dados pode ser uma consulta a uma enciclopédia ou a leitura de um livro virtual (e-book). A execução do aplicativo mostra ao aluno situações dinâmicas que representam determinada característica da natureza que se deseja analisar. A essa dinâmica chamaremos de animação: ela é uma modelagem de um acontecimento real.

Usando o Modellus, que é um aplicativo de distribuição gratuita para Windows, podemos criar as mais diversas animações, dependendo das necessidades pedagógicas. Dois exemplos das possíveis animações usadas como ferramentas para facilitar o processo ensino-aprendizagem de Física são apresentadas a seguir: (i) apresentar o conceito de movimento relativo e analisar os referenciais inerciais e não inerciais. Com estas animações poderemos mostrar as medidas de posição, velocidade, aceleração e força efetuadas por dois observadores sobre o movimento de determinado objeto em observação. Evidentemente, as discussões sobre a validade das leis de Newton fazem parte deste contexto; (ii) discutir sobre um sistema de partículas e apresentar o conceito de centro de massa; enfatizar o princípio da conservação do momento linear relativo ao referencial do centro de massa para um conjunto de partículas.





**Figura 2.2.** Mapa Cognitivo sobre o *Modellus*

Quando o computador é usado como meio de comunicação, o seu aproveitamento como artefato pedagógico é de grande valia. No momento que está conectado à Internet, o aplicativo de navegação (Internet Explorer, Netscape, Mozilla, Opera, HotJava e muitos outros) transforma o monitor do computador em um quadro-negro virtual. O aluno pode capturar (download) arquivos de textos com figuras animadas ou interativas para uma leitura e visualização de imediato ou em um momento posterior. Por outro lado, através deste mesmo aplicativo o aluno pode executar as animações pedagógicas on-line que fazem uso dos applets de Java [38], com avançadas características de interatividade e comunicação cliente-servidor muito sofisticadas.

Com estas animações interativas, pode-se criar uma representação real ou ideacional de um fenômeno físico, apresentar aos alunos as características do fenômeno para a observação, além de serem sensíveis aos critérios individuais, onde o aprendiz pode agir na modificação das condições iniciais e observar as respostas, relacionar grandezas e outros atributos pertinentes ao fenômeno físico de tal forma que os subsunçores seriam modificados e ampliados para apreender o novo conhecimento.

O recurso pedagógico descrito é capaz de aglutinar todo um conjunto completo de um problema físico, apresentá-lo sob várias formas, em detalhes, que é acompanhado pelo aluno de acordo com o seu critério, fruto de suas experiências, ao mesmo tempo em que compartilha com os outros na sua comunidade, a sua interpretação, enquanto o orientador acompanha o grupo através de sala de bate-papos, controle de tempo de acesso as atividades apresentadas, ou criando situações desafiadoras que podem ser desempenhadas com o uso das animações interativas. Nas salas de aulas presenciais, as aulas podem ser acompanhadas pelo uso de computadores para facilitar a explicação e o entendimento dos assuntos em estudos.

Mas o que fazer quando não existem subsunçores disponíveis? Esse é o contexto da maioria dos alunos dos cursos básicos de Ciências Exatas quando estão cursando Física Geral I. Vários conteúdos apesar de fazerem parte das suas vivências cotidianas são de conhecimento fragmentado e também nunca lhes foram apresentados formalmente. A primeira atitude que se toma para acompanhar um curso nestas condições é ir memorizando as partes iniciais até que o seu conteúdo seja absorvido, incorporado de modo abrupto como estudo de última hora. Esta aprendizagem está inserida na concepção da aprendizagem mecânica apontada por Ausubel [26] como uma aprendizagem automática, em que ocorre a aprendizagem de novas informações com pouca interação com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva.

A nossa proposta é que esse primeiro contato se dê através das animações interativas, que simulam a Natureza. Em uma modelagem, a flecha do tempo pode ir e vir; as condições iniciais podem ser alteradas para dar conta das inúmeras possibilidades oferecidas para análise. Daí, a ponte entre as concepções dos alunos e dos professores seguiria a proposta discutida por Kubli [59] em seu conceito de *ensino reversível*. Se a assimilação de um tópico requer um grande desequilíbrio cognitivo, passos intermediários devem ser introduzidos para a sua redução, facilitando o processo comunicativo e certamente a aprendizagem significativa.

Acreditamos que a animação interativa possa ser aplicada com um duplo viés. Por um lado ela será o contraste que possibilitará a radiografia da estrutura cognitiva dos estudantes e por outro lado atuará como uma ponte entre o que eles conhecem e o conteúdo a ser apresentado. Como a animação interativa facilita a construção de relações e significados, favorecendo a aprendizagem construtivista, podemos desencorajar o aluno de seguir a idéia muito divulgada de que sendo a física uma disciplina muito difícil – é uma realidade – também se torna muito difícil o seu entendimento. Neste processo de ensino-aprendizagem é possível [60]

- (i) elevar o nível do processo cognitivo, exigindo que os estudantes pensem num nível mais elevado, generalizando conceito e relações;
- (ii) exigir que os estudantes definam suas idéias mais precisamente;
- (iii) propiciar oportunidades para que os estudantes testem seus próprios modelos cognitivos, detectem e corrijam inconsistências.

Desejamos reforçar a crença de que as animações interativas ajudam os estudantes a superar as suas limitações cognitivas [61], e aumentar a esperança de que o exercício de construção de modelos pedagógicos possa ajudar na estruturação da forma de pensar [62].

## Referências Bibliográficas

- [1] NEWTON, I., **Principia - Princípios matemáticos de filosofia natural (livro 1)**, (trad.: Trieste Ricci; Leonardo Gregory Brunet; Sônia Terezinha Gehring; Maria Helena Curcio Célia). São Paulo: Edusp, 325 p., 2002.
- [2] FITAS, A. J. S. **Os Principia de Newton, alguns comentários** (Primeira parte, a Axiomática), *Vértice*, 72, 61-68, 1996.
- [3] COHEN, I. B. **La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas**, Madrid: Alianza Editorial, p.72, 1983.
- [4] FERREIRA, G. F. L. Comparação entre a mecânica relativista e a mecânica newtoniana, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 26, n. 1, 49-51, 2004.
- [5] CASTELLANI, O. C. Discussão dos Conceitos de Massa Inercial e Massa gravitacional, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 23, n. 3, 356-359, 2001.
- [6] CHIBENI, S. S. A Fundamentação Empírica das Leis Dinâmicas de Newton, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 21, n. 1, 1, 2000.
- [7] BLANCHÉ, R. **El método experimental y la filosofía de la física** (Fondo de Cultura Económica, México), 1972.
- [8] HODSON, D. **Philosophy of science, science and science education**, *Studies in Science Education*, 12, pp. 25-57, 1985.
- [9] SALINAS J., GIL, D.; CUDMANI, L. de. **La elaboración de estrategias educativas acordes con un modo científico de tratar las cuestiones**, *Memorias de REF IX*, Salta, Argentina, pp. 336-348, 1995.
- [10] MIZUKAMI, M. da G. N. **Ensino: as abordagens do processo**. São Paulo: EPU, 119 p, 1986.
- [11] PIAGET, J. **Psicologia da Inteligência**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1977.
- [12] CHIAROTTINO, Z. **A Teoria de Jean Piaget e a educação**. São Paulo: Papalivros, 1986.
- [13] PIAGET, J. **O nascimento da inteligência na criança**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1971.
- [14] JONASSEN, D. H., **Computers in the classroom: mindtools for critical thinking**. Columbus (OH): Prentice-Hall, 1996.
- [15] SAVERY, J., DUFFY, T. M. **Problem based learning: an instructional model ant its constructivism framework**. In: WILSON, B. G. (Ed.). **Designing constructivist learning environments**. Englewood Cliffs (NJ): Educational Technology Publications, 1995.
- [16] BROWN, J. S., COLLINS, A., DUGUID, P. **Situated cognition and the culture of learning**. *Educational Researcher*, Washington, v.18, n.1, p.32-42, 1989.
- [17] LAVE, J., WENGER, E., **Situated learning: legitimate peripheral participation**. In: WILSON, B. G. (Ed.). **Constructivist learning environments: case studies in instructional design**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.

- [18] SCHANK, R. C.; FANO, A.; BELL, B.; JONA, M. The design of goal-based scenarios. *The Journal of the Learning Sciences*, Hillsdale (NJ), v.3 n.4, p.305-345, 1993/1994.
- [19] JONASSEN, D. H., MYERS, J. M., MCKILLOP, A. M. **From constructivism to constructivism: learning with hypermedia/multimedia rather than from it.** In: WILSON, B. G. (Ed.). **Constructivist learning environments: case studies in instructional design.** Englewood Cliffs (NJ): Educational Technology Publications, p. 9-106, 1996.
- [20] SANTOMÉ, J. T. **Globalização e interdisciplinaridade.** O Currículo Integrado. Porto Alegre: Artes Médicas, 275p. 1998.
- [21] DRIVER, R.; GUESNE, E.; TIBERGHIE, A. Ideas científicas en la infancia y la adolescencia. Madrid: M.E.C./Morata, 1989. (Children's ideas in science. Open University Press. 1985).
- [22] CARRETERO, M., POZO, J. I.; ASENSIO, M. **Problemas y perspectivas en la enseñanza de las Ciencias Sociales: una concepción cognitiva,** In: M. Carretero, J. I. Pozo; M. Asensio (Eds) *La enseñanza de las Ciencias Sociales.* Madrid: Visor, 1989.
- [23] AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicología educativa.** México: Edit. Trillas, 7ª reimpresión, 1995.
- [24] LABURÚ, C. E.; ARRUDA, S. M. Reflexões Críticas sobre as Estratégias Instrucionais Construtivistas na Educação Científica, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.24 , n.4, 483, 2002
- [25] AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D. e HANESIAN, H. - **Psicologia Educacional,** Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 2ª edição, 1980.
- [26] MOREIRA, M. A. **Teorias da Aprendizagem.** Editora Pedagógica e Universitária, 1999.
- [27] MOREIRA, M. A. **Uma abordagem cognitivista ao Ensino de Física.** Porto Alegre: Editora da Universidade, UFRGS, 1983.
- [28] MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa.** Brasília: Editora UNB, 1999.
- [29] SCHWAB, J. **The practical 3: translation into curriculum.** *School Review*, 81(4): 501-502. 1973.
- [30] NOVAK, J. D. **Uma teoria da educação.** São Paulo: Pioneira. Tradução de M. A. Moreira do original **A theory of education.** Ithaca, N. Y.: Cornell University Press, 1977.
- [31] WILSON, B. G. **Constructivist Learning Environments: Case Studies in Instructional Design.** Educational Technology Publications, 1995.
- [32] TUROFF, M. **A Marketplace Approach to the Information Highway, Boardwatch Magazine,** April, 1995. Updated version in NJIT Magazine, Fall, 1996.
- [33] SMITH, P.; KELLY, M. **Distance education and the mainstream.** London: Croom Helm, 1987.
- [34] BEAUDOIN, M. The instructor's changing role in distance education. *American Journal of Distance Education*, University Park,(PA), v.4, n.2, p.21-29, 1990.

- [35] GUNAWARDENA, C. N., Changing faculty roles for audiographics and online teaching. *American Journal of Distance Education*, University Park (PA), v.4, n.3, p.38-46, 1992.
- [36] RAMAL, A. C. **Pedagogo: a Profissão do momento**. Associação Brasileira de Educação à Distância. Disponível em: <[www.abel.org/br/clip06032000.htm](http://www.abel.org/br/clip06032000.htm)>. Acesso em 15 de julho de 2004.
- [37] DERRY, S. J., **Flexible cognitive tools for problem solving instruction**. Paper presented at the manual meeting of the American Educational Research Association, Boston, MA, April, 16-20, 1990.
- [38] SALOMON, G., PERKINS, D. N., GLOBERSON, T. Partners in cognition: extending human intelligence with intelligent technologies. *Educational Researcher*, Washington D.C., v.20, n.3, p.2-9, 1991.
- [39] WIGGINS, G. **Assessment: authenticity, context, and validity**. *Phi Delta Kappan*, Chicago (USA), 75, p. 200-214, 1993.
- [40] KEN, A.; GOSLING, J. **The Java Programming Language**. The Java Series. Addison-Wesley Published Company, inc. 1996.
- [41] DEITEL, H. M.; DEITEL, P. J. **JAVA™ Como Programar**. Trad. Edson Furnankiewicz, 3ª ed., Porto Alegre: Editora, Bookman, 2001.
- [42] TAKAHASHI, T. e LIESENBERG, H. K. E. **Programação Orientada a Objetos**. IME-USP, 1990.
- [43] MORRISON, D., LAUZON, A. C., Reflection on some technical issues to connecting learners in online education. *Research in Distance Education*. v.4, n.3, p.6-9, 1992.
- [44] FEITOSA, A. C. **O Fazer Pedagógico dos Educadores com a inserção das Salas de Informática: da ação à reconstrução**. Texto Mimeo. Campo Grande, 2000.
- [45] CASTRO, C. M. **Ponto de Vista**. Revista Veja, março, p. 23, 2000.
- [46] MASON, R. Models of online Courses. *Asynchronous Learning Networks Magazine* Volume 2, issue 2. Outubro 1998.
- [47] HALLOUN, I. Schematic Modeling for Meaningful Learning. *Journal of Research in Science Teaching*, v.33, Issue 9, 1996.
- [48] VEIT, E. A. e TEODORO, V. D. Modelagem no Ensino/Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 24 N° 2, 2002.
- [49] FENDT, W. Disponível em <<http://www.walter-fendt.de/ph14e/>>. Acesso em: 2 de janeiro de 2005.
- [50] GARCÍA, A. F. Disponível em <<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm>>. Acesso em: 2 de janeiro de 2005.
- [51] HWANG, F. Disponível em <<http://www.cepa.if.usp.br/fkw/index.html>>. Acesso em: 2 de janeiro de 2005.
- [52] REDDY, B. S. Disponível em <<http://surendranath.tripod.com/Applets.html>>. Acesso em: 2 de janeiro de 2005.

- [53] BARBETA, V. B.; YAMAMOTO, I. Dificuldades Conceituais em Física Apresentadas por Alunos Ingressantes em um Curso de Engenharia, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.24, n.3, 332, 2002.
- [54] WELLS, M.; HESTENES, D.; SWACKHAMER, G. A Modeling Method for High School Physics Instruction, *American Journal of Physics*, 63 , 606, 1995.
- [55] CORTE, E. de; VERSCHAFFEL, L; LOWYCK, J. **Computer and learning**. In: HÚSEN, T. N. (Eds.) *Education: the complete encyclopedia*. Oxford: Pergamon Press, 1 CD, 1998.
- [56] TAYLOR, R. P. (Ed.) *The computer in the school: tutor, tool, tutee*. New York: Teachers´s College Press, 1980.
- [57] TEODORO, V. D. Disponível em <<http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/>>. Acesso em: 2 de janeiro de 2005.
- [58] VEIT, E. A. e TEODORO, V. D. Modelagem no Ensino/Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Vol. 24, nº 2, 2002.
- [59] KUBLI, F. Piaget´s cognitive psychology and its consequences for the teaching of science. *European Journal of Science Education*, 1, 5-20, 1979.
- [60] WEBB, M. and HASSEN, D. **Opportunities for computer based modelling and simulation in secondary education**. In: LOVIS, F. and TAGG, E. D. (Eds.) *Computer in education*. Amsterdam: North-Holland, 1988.
- [61] JIMOYIANNIS, A. and KOMIS, V. Computer simulation in physics teaching and learning. *Computers and Education*, 36, 183-204, 2001.
- [62] OGBORN, J. Cognitive development and qualitative modelling. *Journal of Computer Assisted Learning*, 14, 292-307, 1998.

# Capítulo 3

## Aprendizagem Significativa: uma nova metodologia de ensino

### 3.1. Introdução

Neste Capítulo fazemos uma análise aprofundada da “matriz” (representação bidimensional) das idéias de Ausubel na visão de Novak e os vários tipos de aprendizagens. Discutimos a *diferenciação progressiva*, a *reconciliação integrativa*, a *organização seqüencial* e a *consolidação* para a facilitação programática da aprendizagem significativa. Determinamos as possíveis falhas na lógica encadeada escritas nos livros didáticos. Apresentamos as seguintes estratégias instrucionais: organizador prévio, mapa conceitual, vê epistemológico e a negociação de significados. A animação interativa é apresentada como uma nova estratégia instrucional (metodologia de ensino), podendo ser utilizada inclusive como forma de avaliação. Neste contexto, podemos tratar de um modo de difícil aplicação: avaliar através de uma entrevista [1]. Esta nova metodologia baseia-se fortemente na *negociação de significados*. Por fim, as pertinentes alterações a serem executadas nos livros didáticos são apresentadas para serem devidamente utilizadas nesta nova metodologia de ensino e avaliação.

Este Capítulo tem o intuito de mostrar de modo detalhado as teorias de Ausubel e Novak e o compartilhar significados de acordo com Gowin. Podemos verificar que estas teorias definem um caminho a ser seguido, apresentando as formas de aprendizagem, as estratégias facilitadoras e os possíveis instrumentos de avaliação para a aquisição do conhecimento. Diante desta atmosfera teórica, é apresentada a *animação interativa* como ferramenta cognitiva capaz de merecer tais atributos, enquadrando-se dentro dos pressupostos teóricos da aprendizagem significativa. São acrescentados os seguintes elementos subjacentes: a empatia, as atividades sociais e as relações de trabalho. Estes elementos podem agir como geradores de reflexões que alimentam o próprio processo de criação artística e facilita a aprendizagem significativa.



### **3.2. Aprendizagem significativa: tipos de aprendizagens, princípios e estratégias facilitadoras**

Para se atingir a aprendizagem significativa, uma mudança conceitual completa do processo educativo deve envolver pelo menos as seguintes alterações: material didático; ensino (professor e sua metodologia); aprendiz e sua capacidade de aprendizagem; currículo (organização e interligação das áreas de conhecimento); conhecimento (domínio do conteúdo programático de Física e de outras áreas) e avaliação (da aprendizagem, do currículo, do ensino, do conhecimento, do meio social) em um contexto: social, cultural, trabalhista e político do aprendiz além do relacionamento afetivo.

Relativo ao professor anteriormente tradicionalista ou comportamentalista, para o qual o ensino tinha uma abordagem padronizada e a avaliação baseava-se em provas, testes objetivos, inclusive válidos e fidedignos, ao transformar-se em um orientador cognitivo-construtivista, filosoficamente modificado, é submetido, portanto, a uma diversidade estrutural e a uma exigência pessoal muito profunda: alterar seus conceitos subsunçores e assimilar um novo conceito de ensino e avaliação. É evidente que a ênfase em sala de aula é direcionada para a tentativa de estimular os estudantes a terem predisposição para aprender a relação entre conceitos aceitos pela comunidade e a incentivar a capacidade de pesquisar e de criação artística, independentemente da metodologia adotada, mas necessária em uma abordagem construtivista.

Para facilitar a aprendizagem significativa, devemos identificar quando necessário o que o aprendiz sabe, manipulando a sua estrutura cognitiva através de um organizador prévio e ensinar adequadamente os significados considerados “corretos” no contexto da matéria de ensino. Nesse caso, a mudança conceitual ocorrerá quando o mesmo for capaz de diferenciar entre estes significados corretos e os significados errôneos obtidos pela sua relação com a natureza. Na avaliação da aprendizagem significativa devemos procurar as evidências de que o aprendiz emprega cada vez mais os significados “corretos” apesar de manter-se na sua estrutura cognitiva a informação residual dos significados “errôneos” não apagáveis.

O computador como uma ferramenta pedagógica, para o ensino e aprendizagem de Ciências Físicas [2], através das animações interativas [3] pode criar uma ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que mesmo deverá saber para entender o material a ser assimilado; ajudar na abstração para avaliar o fenômeno em observação; permitir que o usuário desenvolva a sua capacidade de criação e produção do conhecimento; gerar desequilíbrios

controláveis no processo facilitando o entendimento das idéias e se for usado como forma de avaliação, ser capaz de identificar se o aluno utiliza cada vez mais os significados “corretos”. A animação interativa pode criar o envolvimento do aluno com o conteúdo programático a ser aprendido e a vontade de estabelecer as relações com este material e os subsunçores já desenvolvidos. Muitas vezes esta predisposição para aprender é reduzida devido a um histórico negativo na vida social, escolar e nas relações de trabalho, apesar deste aprendiz apresentar um certo grau de motivação.

Em uma nova metodologia e principalmente quando se deseja implantar uma nova estratégia de ensino e avaliação com o uso destas ferramentas cognitivas, o conhecimento dos diversos tipos de aprendizagem e o entendimento de como podemos orientar o ensino para assegurar ao aluno o contato com as idéias centrais e de modo significativo é crucial.

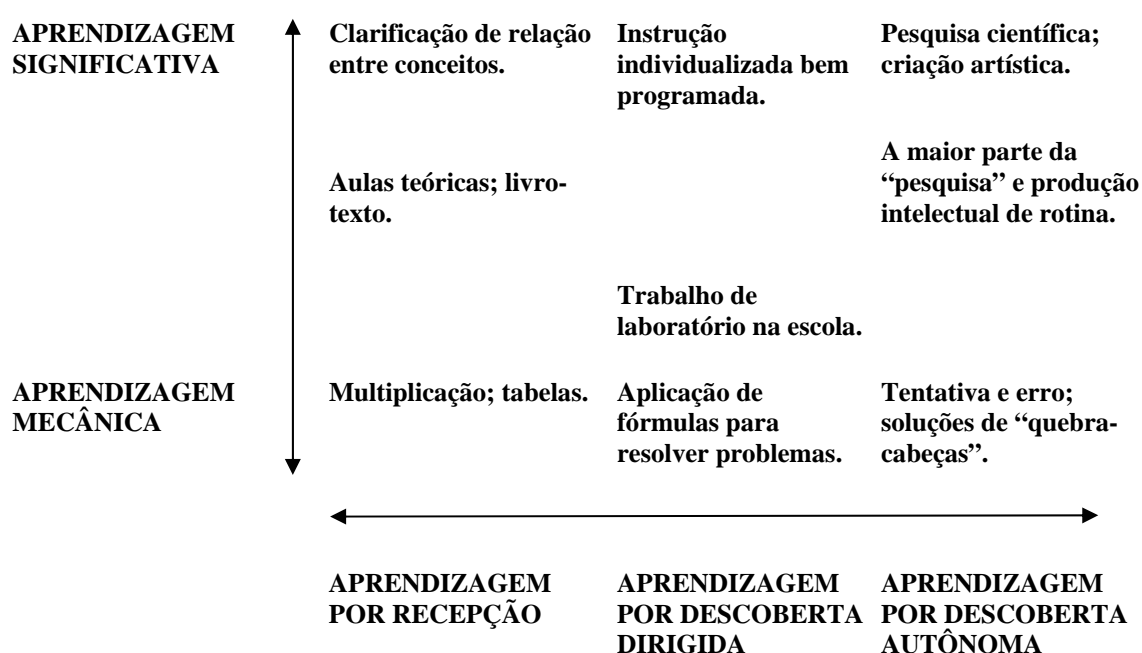
### **3.2.1. Aprendizagem por descoberta e aprendizagem por recepção**

As aprendizagens por descoberta ou por recepção podem ser tanto mecânicas quanto significativas, dependendo do modo como as novas informações são armazenadas na estrutura cognitiva do aluno. Segundo Ausubel [4] sendo de forma não-arbitrária e não literal, tanto uma como a outra são exemplos de aprendizagem significativa. A aprendizagem por descoberta ocorre quando o conteúdo principal a ser compreendido deve ser descoberto pelo aprendiz. No caso da aprendizagem por recepção ou receptiva, o conteúdo a ser entendido deve ser apresentado ao aluno em uma forma finalizada.

A Fig. 3.1 [5] apresenta uma matriz (representação bidimensional) que ilustra os vários níveis de aprendizagem em um contínuo que começa na aprendizagem por recepção e vai até a aprendizagem por descoberta autônoma passando pela aprendizagem por descoberta dirigida, inclusive, aparecem concomitantemente em uma mesma atividade, sem necessariamente constituírem uma dicotomia [1]. As duas formas de aprendizagem podem ser empregadas juntas se necessário para melhorar o entendimento do conteúdo em estudo.

A aprendizagem por descoberta não é necessariamente significativa, como é o caso da tentativa e erro e aplicação de fórmulas para resolver problemas, sendo estes os instrumentos preferenciais empregados pelos estudantes. Por outro lado, a aprendizagem receptiva não é necessariamente mecânica, exemplificada pela clarificação de relação entre conceitos. As aulas teóricas ou livros-texto na forma atual de apresentação como podemos observar na matriz, estão classificados como característicos de uma aprendizagem por recepção e não estão elevados a um patamar de aprendizagem completamente significativa.

De acordo com Ausubel [1], na melhor das hipóteses o material instrucional é logicamente significativo, apenas o relacionamento de modo substantivo e não-arbitrário com conceitos subsunçores é que possibilita a transformação do logicamente significativo em psicologicamente significativo. Outro instrumento de aprendizagem é o trabalho de laboratório, considerado como aprendizagem por descoberta, mas ainda muito próximo à aprendizagem mecânica. Portanto, a instrução individualizada bem programada, a pesquisa científica e a criação artística são as formas de aprendizagem a serem desenvolvidas e praticadas como recurso potencialmente significativo.



**Figura 3.1.** A “matriz (representação bidimensional)” ilustra em suas diferentes posições, as formas típicas de aprendizagem. As aprendizagens por recepção e por descoberta estão em um *continuum* distinto daquele entre aprendizagem mecânica e significativa.

O importante é identificar as limitações de cada uma das formas de aprendizagens e ensinar adequadamente. O método da descoberta pode ser usado para a aprendizagem de procedimentos científicos em uma determinada disciplina enquanto o método receptivo é mais indicado para a aquisição de grandes *corpi* de conhecimento [1]. Na sala de aula a maioria dos professores emprega o método receptivo.

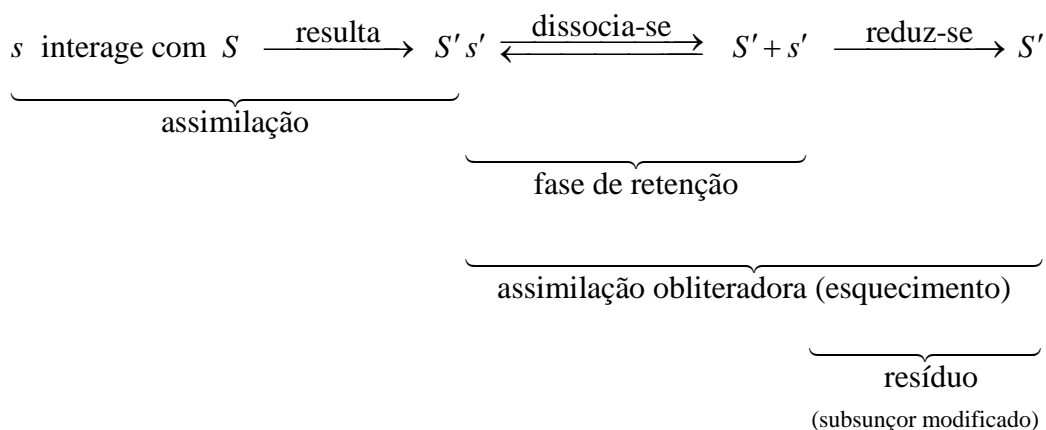
### 3.2.2. Teoria da assimilação, aprendizagens subordinada e superordenada

De acordo com Ausubel em sua *teoria da assimilação*, como resultado do processo de interação entre o novo material a ser aprendido e a estrutura cognitiva existente que se estabelece na aprendizagem significativa, ocorre uma *assimilação* com modificações dos

anteriores e atuais significados que contribui para a diferenciação dessa estrutura [1]. A assimilação é um processo que ocorre quando uma nova informação potencialmente significativa  $s$  em forma de uma idéia, conceito ou proposição é relacionada a um conceito subsunçor  $S$ , ou seja, uma idéia, conceito, ou proposição, como um exemplo, ampliação elaboração ou qualificação deste conceito existente na estrutura cognitiva.

O produto da interação que caracteriza a aprendizagem significativa modifica tanto a nova informação  $s$  quanto o conceito subsunçor  $S$ . Desse modo, o novo significado  $s'$  e a alteração da idéia-âncora para  $S'$ , aparecem como um significado composto  $S's'$ . Este produto da interação não é estável ao longo do tempo e pode sofrer alterações com a inclusão de novas aprendizagens ou redução da capacidade de reproduzir idéias subordinadas. Neste período variável de retenção, o produto da interação  $S's'$  é dissociável em  $S'$  e  $s'$ , favorecendo a retenção de  $s'$ .

A ação do tempo sobre o conhecimento produz uma redução na capacidade de dissociação do produto da interação  $S's'$ , até que não se pode mais identificar  $s'$ , apenas a idéia, o conceito e a proposição mais geral e mais estável  $S'$ . Este segundo estágio é denominado de *assimilação obliteradora*. Segundo Ausubel [4], este processo característico de toda a aprendizagem significativa é inevitável. Apesar da deteriorização do produto da interação  $S's'$ , identifica um fator residual  $S'$ , o conceito subsunçor modificado. A Fig. 3.2 [1] mostra o processo de assimilação-obliteração aqui discutido.



**Figura 3.2.** Esquema representativo da assimilação-obliteração de um novo subsunçor  $s$  através de um subsunçor  $S$  já existente, resultando em um subsunçor modificado  $S'$ .

Este processo, chamado de subsunção, é uma forma de subordinação, visto que a nova informação adquire significado por meio da interação com conceitos subsunçores existentes

como idéias mais gerais e inclusivas. A esta subordinação do novo conhecimento à estrutura cognitiva dá-se o nome de aprendizagem significativa subordinada que aparece sob duas formas. A primeira ocorre quando um novo material é entendido como um exemplo específico de um conceito já aprendido denominado de aprendizagem subordinada derivativa. A segunda estabelece-se quando o material aprendido é uma extensão, elaboração, modificação ou qualificação de conceitos ou proposições previamente incorporados, o qual chamamos de aprendizagem subordinada correlativa.

Diferentemente da aprendizagem subordinada existe uma outra forma de aprendizagem denominada de aprendizagem significativa superordenada. Esta é a aprendizagem que se estabelece quando um conceito ou proposição potencialmente significativo  $S$  a ser aprendido é mais geral e inclusivo do que as idéias  $s_1, s_2, \dots, s_n$  já pertencentes a estrutura cognitiva do aprendiz<sup>6</sup>. Nesta situação a idéia superordenada  $S$  passa a abranger todas as idéias das proposições subordinadas  $s_1, s_2, \dots, s_n$  caracterizando-se como um novo conjunto de atributos criteriosais [1].

Cabe neste momento um exemplo sobre o princípio de conservação da energia. As idéias  $s_1, s_2, \dots, s_n$  podem ser exemplos específicos que mostrem para diversos sistemas que a quantidade total de energia antes e depois de uma transformação não se modifica. Podem ser também exemplos específicos de que a transformação de um tipo de energia em outro ocorre com a quantidade total de energia conservada. Dessa forma, o aluno poderá chegar a conclusão de que a idéia superordenada conservação de energia  $S$  é universal e todos os exemplos anteriores são vistos como casos particulares.

Uma idéia mais geral como o conceito de conservação das grandezas físicas, seria um subsunçor  $S$  e todas as idéias  $s_1, s_2, \dots, s_n$  seriam as idéias subordinadas conservação da energia, conservação da carga elétrica, conservação do momento, conservação da massa, etc., que serviriam para modificar o próprio conceito da idéia-âncora, a conservação. Nesta aprendizagem subordinada, para aprender que determinado tipo de energia se conserva, usar-se-ia como subsunçor a idéia de conservação de energia, aprendendo a informação por subordinação derivativa. Usando-se o mesmo conceito subsunçor, a idéia de conservação de energia, mas para aprender a idéia de conservação do momento, teríamos a aprendizagem subordinada correlativa.

---

<sup>6</sup> Na aprendizagem subordinada a nova informação  $s$  é subordinada a um conceito subsunçor  $S$  mais geral já disponível na estrutura cognitiva. Para a aprendizagem superordenada a nova informação é um conceito mais geral  $S$  enquanto os conceitos subsunçores já disponíveis  $s_1, s_2, \dots, s_n$  estarão subordinados a ele.

### 3.2.3. A facilitação programática da aprendizagem significativa

A estrutura cognitiva pode ser deliberadamente influenciada de duas formas: *substantivamente* e *programaticamente*. A primeira relaciona-se com a qualidade do material instrucional, procurando identificar conceitos, idéias e procedimentos básicos mais importantes da matéria de ensino. Devemos analisar de uma maneira crítica e previamente o que deve ser ensinado de modo que possamos relacionar este conteúdo com o conhecimento prévio do aprendiz adequadamente. A segunda está vinculada aos princípios programáticos, a lógica e ao planejamento.

*Substantivamente* de uma forma rigorosamente quer dizer [6]: com propósitos organizacionais e integrativos, usando os conceitos e proposições unificadoras do conteúdo da matéria de ensino, que têm maior poder explanatório, inclusividade, generalidade e relacionabilidade neste conteúdo. Enquanto que, *programaticamente* quer dizer com princípios programáticos para ordenar seqüencialmente a matéria de ensino, respeitando sua organização e lógica internas e planejando a realização de atividades práticas. Segundo Ausubel [6]:

*Uma vez resolvido o problema organizacional substantivo da identificação dos conceitos organizadores básicos da matéria de ensino, a atenção pode ser dirigida para os problemas organizacionais programáticos envolvidos na apresentação e organização seqüencial das unidades complementares. Aqui, conjectura-se, vários princípios relativos à programação eficiente do conteúdo são aplicáveis, independentemente da área de conhecimento.*

Os princípios aos quais Ausubel refere-se são: *diferenciação progressiva*, *reconciliação integrativa*, *organização seqüencial* e *consolidação*. O primeiro princípio denominado de *diferenciação progressiva* relaciona-se com as idéias mais gerais e inclusivas da matéria de ensino que devem ser apresentadas no início de cada seção ou atividade de ensino. Em seguida, os casos particulares associados a este material instrucional são progressivamente diferenciados. O segundo princípio chamado de *reconciliação integrativa* é o responsável pela exploração de relações entre proposições e conceitos, por alertar para diferenças e similaridades importantes e reconciliar inconsistências reais e aparentes. Quanto ao terceiro princípio, a *organização seqüencial*, pode permitir a maximização das idéias-âncora relevantes para o uso na aprendizagem significativa e retenção devido as dependências seqüenciais apresentadas na matéria de ensino e o fato de que determinado tópico é compreendido a partir do entendimento de um tópico anterior [7]. A *consolidação*, como quarto princípio, indica que devemos passar

para um novo tópico apenas quando o atual já está consolidado. Um quinto princípio devido a Novak nos diz que: *O ensino deve ser planejado de modo a facilitar a aprendizagem significativa e a ensinar experiências afetivas positivas.*

À medida que o material instrucional é progressivamente diferenciado e chegamos aos casos mais específicos devemos novamente retornar para o conceito mais geral na estrutura cognitiva a partir de exemplos. Dessa forma para a obtenção de uma *reconciliação integrativa* o ensino deve ter uma alternância entre descer e subir na estrutura hierárquica conceitual [8].

### **3.2.4. Estratégias instrucionais**

As principais estratégias instrucionais facilitadoras da aprendizagem significativa são: os organizadores prévios de Ausubel, os mapas conceituais de Novak e os Vês epistemológicos de Gowin [9]. Além destas, uma estratégia mais importante que pode ser usada com os mapas conceituais, com os Vês epistemológicos ou com qualquer recurso instrucional é o *intercâmbio*, ou *troca* ou ainda *negociação de significados* relativos aos materiais educativos do currículo [1]

Os organizadores prévios propostos por Ausubel como facilitadores da aprendizagem significativa são definidos como: materiais introdutórios, em um nível mais alto de generalidade e de abstração do que o material que deve ser aprendido, cuja principal função é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele precisa saber para que possa aprender significativamente a tarefa com que se depara. As pesquisas apontam que os organizadores prévios apresentam um efeito na aprendizagem e na retenção, porém, pequenos [10]. Os organizadores prévios não são capazes de suprir as deficiências de subsunçores e sua aplicabilidade ou potencial didático estaria na função de estabelecer, em um nível mais alto de generalidade, inclusividade e abstração, a relação explícita entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio já adequado do aluno para dar significado aos novos assuntos em estudo. Apenas a existência de subsunçores adequados não é suficiente para que o aluno perceba a relação entre estes e o novo conhecimento.

A capacidade de abstração para a devida interpretação de um fenômeno físico é uma questão que envolve operações formais. As operações formais exigem a combinação de procedimentos e fragmentos de conhecimento que nem sempre são fáceis de interligar. Imaginemos o conceito de posição em um movimento unidimensional com aceleração nula. Em relação a uma origem, a posição é diretamente proporcional ao tempo. Os alunos têm os

subsunçores adequados: posição inicial, velocidade, inclinação, função temporal, funções trigonométricas, tempo, eixo de referência, proporcionalidade direta e inversa, operações matemáticas básicas etc. No entanto, agrupar adequadamente estes conceitos subsunçores na maioria dos casos é necessário que a informação seja explicitamente apresentada, por exemplo, pelas animações interativas.

A segunda estratégia são os mapas conceituais desenvolvidos por Novak. Os mapas conceituais são diagramas hierárquicos bidimensionais que procuram refletir a estrutura conceitual e relacional da matéria que está sendo ensinada seguindo os princípios da *diferenciação progressiva* e *reconciliação integrativa*. Também são utilizados como mecanismo de negociação de significados e de avaliação da aprendizagem significativa. Outra característica que os colocam como instrumento de metacognição é a possibilidade de reflexão por parte do aluno em termos da sua própria aprendizagem.

A terceira estratégia facilitadora é o instrumento desenvolvido por Gowin [9], chamado de Vê epistemológico e entendido como sendo um recurso heurístico. O Vê enfatiza a interação entre o pensar, que seria o domínio conceitual da produção do conhecimento e o fazer, na linha do domínio metodológico. Este recurso volta-se para mais para a questão da construção do conhecimento humano. Neste contexto, o aluno compreende o processo de construção do conhecimento que por sua vez facilita a reconstrução e a aprendizagem significativa. Assim, o Vê epistemológico é um instrumento de metaconhecimento.

A quarta estratégia facilitadora e a mais importante é o processo de troca de significados. De acordo com Vygotsky [11] na interação social decorrente do ensino na zona de desenvolvimento proximal, aparece a figura do professor ou de companheiros mais capazes cujos significados socialmente compartilhados relacionados ao material instrucional estão internalizados. Estes procuram compartilhar com o aprendiz os significados com o intuito de que estes alunos também possam empregá-los.

Gowin acredita que o processo ensino-aprendizagem se caracteriza por compartilhar significados entre aluno e professor, relacionados aos conhecimentos veiculados por materiais educativos do currículo. O compartilhar significados é um processo intencional entre o professor, no seu desejo de mudar os significados da experiência do cotidiano do aluno, e o aprendiz, na sua disposição para aprender e captar o significado, dos materiais instrucionais. Quando o professor verifica se o aluno captou os significados dos materiais educativos do currículo proposto por ele, então se consuma um episódio de ensino. Neste processo, o aluno é responsável por verificar se os significados



que captou estão de acordo com os objetivos traçados pelo professor ou assemelhando-se a estes, exteriorizando os significados captados.

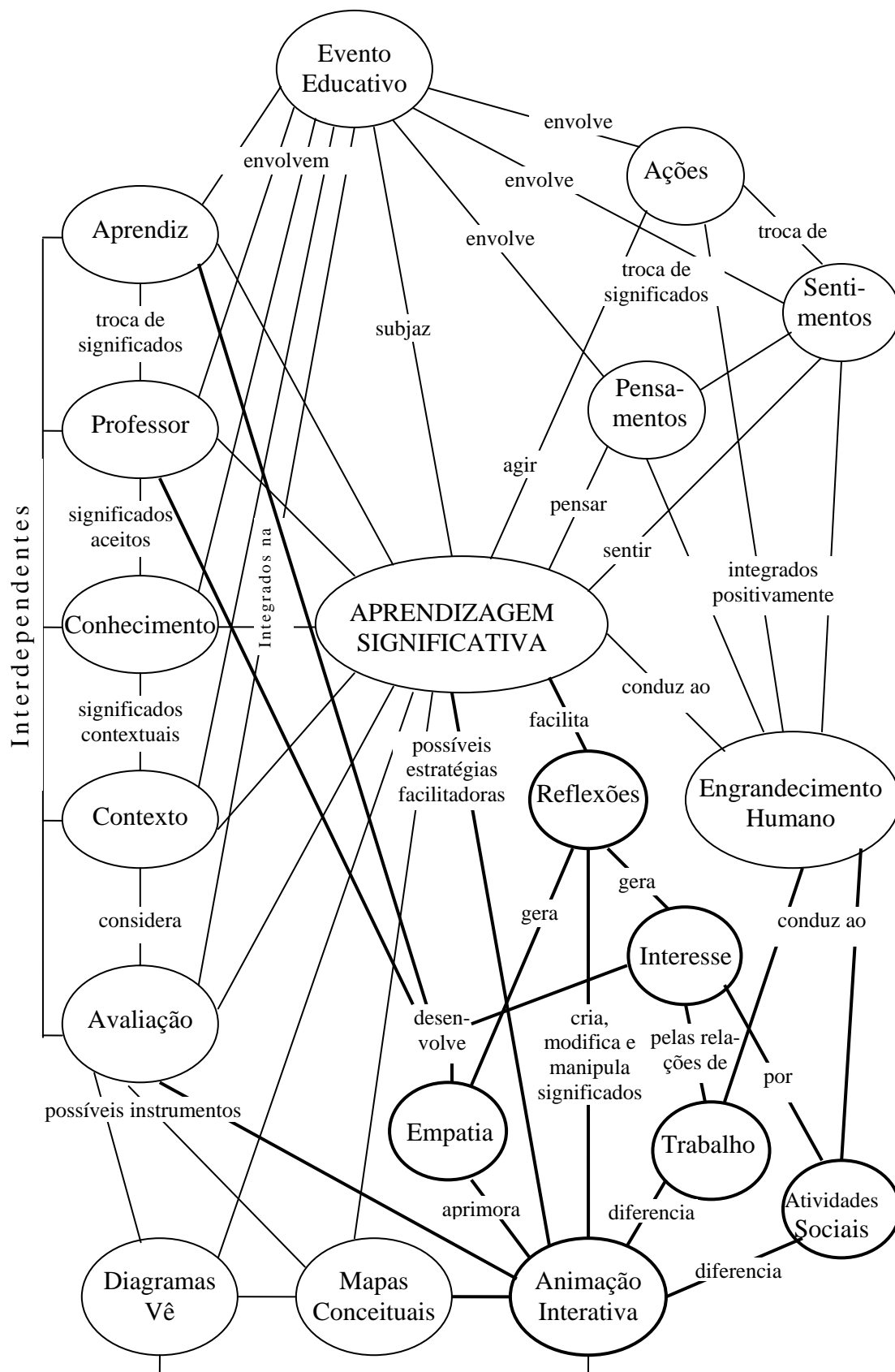
Gowin afirma que aprender de maneira significativa é uma responsabilidade do aluno que não pode ser compartilhada pelo professor. A reciprocidade de responsabilidades é requerida pelo ensino e no momento em que é alcançado o compartilhar significados, a decisão de querer aprender significativamente ou não, é exclusividade do aluno. Para aprender significativamente, o aluno tem que manifestar uma disposição para relacionar, de maneira não-arbitrária e não-literal (substantiva), a sua estrutura cognitiva, os significados que capta a respeito dos materiais educativos, potencialmente significativos, do currículo, após a captação do significado já conseguido.

Como ilustração de uma estratégia instrucional, mostramos na Fig. 3.3, um mapa conceitual representativo da Teoria da Educação de Novak. Neste mapa encontra-se a aprendizagem significativa como elemento integrador entre os cinco elementos, pensamentos, sentimentos e ações e também as possíveis estratégias facilitadoras da aprendizagem significativa. A este mapa conceitual elaborado por Moreira [1] acrescentamos como possível estratégia facilitadora e como provável instrumento de avaliação, a animação interativa. Incluímos também neste mapa a empatia e o interesse pelas relações de trabalho e atividades sociais. A proposta de ensino desta dissertação segue a linha da quarta estratégia facilitadora, a *troca de significados*.

A incorporação de tais características ao mapa conceitual segue um modelo sobre a prática atual do professor que é chamada de *prática reflexiva* [12]. Uma das características desta prática, segundo Schön [13], refere-se ao gerenciamento do relacionamento interpessoal. Nesse sentido, para o profissional enfrentar domínios em princípios indeterminados, é importante ter um comportamento no grupo que implica alimentar atitudes de receptividade, abertura e aceitação mútua.

### **3.3. A animação interativa como estratégia instrucional**

Devemos determinar se o compartilhamento de significados através da animação interativa configura-se em um processo intencional entre professores e alunos, juntamente com o material instrucional que deve ser logicamente encadeado e potencialmente significativo.



**Figura 3.3.** Um mapa conceitual da Teoria de Educação de Novak, tendo a aprendizagem significativa como conceito chave. Os tópicos e os conectivos em linhas destacadas é a contribuição desta dissertação dentro do contexto da aprendizagem significativa.

O professor como um agente do processo educativo, na medida em que faz uma análise crítica do material instrucional e determina a estrutura lógica do mesmo, com suas características mais inclusivas no topo da hierarquia para fazer a diferenciação do material que se segue na aprendizagem, já configura uma intenção positiva. Este professor é conhecedor das limitações do aprendizado e busca determinar o caminho instrucional mais adequado para manipular a estrutura cognitiva do aluno desenvolvendo as *animações interativas* com este objetivo. Através desta animação interativa, o instrutor pode interagir com o aprendiz avaliando se os conteúdos do material instrucional estão sendo aprendidos da maneira por ele desejada e se necessário modificar a própria animação para permitir o compartilhamento dos significados. Ainda, as possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino de Física devem ser também observadas, dado o escopo de atuação de determinada teoria ou lei física [14]. Podemos dizer que o professor está envolvido no processo de verificação da qualidade da aprendizagem, fugindo dos métodos tradicionais de ensino de Física que segundo Hestenes [15] são inadequados. Os outros agentes a serem analisados são: o aprendiz e o material instrucional.

### **3.3.1. O aprendiz como agente do processo educativo**

Para o aprendiz, na visão de Piaget, a ação é o fator determinante para que este possa assimilar o novo conteúdo. Na colocação de outros autores aqui já discutidos, em suas teorias sempre se enfatiza a vontade, o interesse ou a responsabilidade do indivíduo em desejar incorporar à sua estrutura cognitiva a nova informação em estudo de uma maneira não-literal e não-arbitrária. Aparentemente é deixada ao aprendiz toda a responsabilidade na busca pela aprendizagem significativa ou nas colocações de Airasian e Walsh [16], impõe-se muita responsabilidade ao estudante na construção de significados e interpretações sociais. Na realidade, sabemos que os fracassos na vida escolar se acumulam e levam a uma situação de efetiva desmobilização intelectual. Diante deste quadro, todo o esforço do professor, usando-se inclusive da manipulação da estrutura cognitiva *substantivamente* e *programaticamente* pode ser desprovido de êxito se não forem ensejadas *experiências afetivas positivas* na forma comentada por Ausubel e destacada por Novak. Coloca-se aqui, a nossa interpretação desta visão humanista de Novak: *afetiva* no sentido em que o aluno aprende ou deixa de aprender determinado conteúdo, mas não na concepção de afetividade a ponto de desenvolvermos um estado de

*empatia* com o aluno ou mesmo aprimorar a discussão da realidade do seu contexto social e relações de trabalho.

As limitações no entendimento conceitual podem fugir ao contexto escolar mesmo com todo o aparato potencialmente significativo à sua disposição. Não esqueçamos que as limitações cognitivas que impedem o entendimento de determinado conteúdo ou dificultam a troca de significados incluem também a deficiência em um certo tipo de inteligência, por exemplo, a lógico-matemática para disciplinas como a Matemática e a Física. Certamente não devemos usar como estratégia para resolver esta situação a seguinte frase: *você deveria mudar de curso*. A *troca de significados* entre professores e alunos, portanto, deve extrapolar a própria aquisição dos significados dos materiais educativos do currículo ensinados pelo professor e captados pelos alunos no ambiente escolar.

Os alunos têm outras responsabilidades no processo educativo, por exemplo, exigir do professor que a discussão em sala de aula presencial ou à distância, quando for possível, enfatize os conceitos físicos e relações entre conceitos numa perspectiva que siga a realidade daquele aprendiz: social, psicológica e trabalhista entre outras. É evidente que nesta situação, deve ser colocado o problema sem a imposição de uma mudança conceitual repentina. Neste contexto, o professor deve ser detentor de um nível de conhecimento (domínio do conteúdo programático de Física e de outras áreas), capaz de suprir as limitações de entendimento dos alunos em várias áreas, quando possível, e se estruturar adequadamente para atender de modo conveniente às exigências mais elaboradas dos seus alunos. Nesta visão, um belo estímulo seria elaborar juntamente com o seu aluno uma animação representativa da sua realidade dentro do contexto do material educativo em evidência. Certamente a motivação, como uma característica inerente, ele a tem e responderá de modo afetivamente positivo.

### **3.3.2. O material instrucional como agente do processo educativo**

Quanto ao material a ser estudado para ser potencialmente significativo deve se relacionar (ser incorporado) a estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não-arbitrária e não-literal. Temos aqui duas condições subjacentes. A primeira nos diz que o material em si deve ser considerado logicamente significativo e na realidade, por definição, assim os consideramos [1]. Ou seja, foi elaborado de modo não-arbitrário e não-aleatório para que possa se relacionar de uma maneira substantiva e não-arbitrária com conceitos subsunçores relevantes na estrutura cognitiva. A segunda nos diz que ao aprendiz é necessário que estes

conceitos subsunçores relevantes estejam disponíveis para aprender o material logicamente significativo e dessa maneira se pode transformar o significado lógico em psicológico.

Um exemplo sobre a segunda lei de Newton na sua forma particular para o caso de massa constante explicará esta transformação:

Um aluno pode aprender a segunda lei de Newton, a qual indica que, a resultante de todas as forças que atuam em um corpo é diretamente proporcional a aceleração em que o corpo foi submetido. Entretanto, essa proposição não será aprendida de *maneira significativa a menos que* o aluno já tenha adquirido, previamente, os significados dos conceitos de força, aceleração, massa, vetores, eixos de referências, referenciais inerciais, componentes, ângulos, relações trigonométricas, proporcionalidade direta e inversa (satisfeitas estas condições, a proposição é potencialmente significativa, pois seu significado lógico é evidente), e *a menos que tente* relacionar estes significados como estão indicados na segunda lei de Newton.

Apesar do significado lógico ser evidente nos livros-texto verifica-se que o significado psicológico não é facilmente atingido. As explicações para tal realidade de acordo com Ausubel podem ser:

- (i) parte do conteúdo programático descrito nos livros e nos materiais educativos do currículo não são totalmente importantes;
- (ii) a ordem em que os principais conceitos e idéias da matéria de ensino aparecem nos materiais didáticos e nos programas muitas vezes não é adequada para facilitar a interação com o conhecimento prévio do aluno;
- (iii) a não exploração explícita de relações entre proposições e conceitos;
- (iv) os aprendizes não têm os subsunçores adequados, conceitos ou proposições claros, estáveis, diferenciados ou estão obliterados.

O item (i) está associado a *substantividade*. A análise crítica conceitual do conteúdo é primordial para a identificação de conceitos, idéias e procedimentos básicos. Ao identificarmos estas condições favoráveis, o ensino encaminha-se para concentrar neles o esforço instrucional. Devemos usar ao nosso favor a filosofia e a sociologia. Através de indagações e questionamentos definir o que é importante para a sociedade e a cultura em que o aluno está inserido. Em qualquer livro-texto escrito com a melhor das intenções, sempre está a ele associado: uma perspectiva de vida de um ser humano, imersa em um contexto social, defendendo a sua convicção e sua cultura e tende a manter na redação do material instrucional, o padrão de aprendizado adquirido nos vários anos de envolvimento com o

meio acadêmico. Por tudo isso, o material instrucional não deve ser apenas diferenciado culturalmente, mas de preferência individualizado dentro de uma vasta complexidade de interesses que compõem os alunos em salas de aulas presenciais ou virtuais. Uma única animação interativa poderá ser manipulada por vários alunos em tempo real para permitir que o exemplo ou os exemplos do contexto educativo atenda exatamente aos objetivos do aluno e do professor: *compartilhar significados*. Os objetos, as coisas ou representações metafóricas delas, cenas ou figuras de um filme, fatos da realidade na sua cidade ou em seu bairro, músicas ou danças, podem dar o contorno psicológico do ambiente para se atingir o *significado psicológico* do material em evidência. O foco não precisa ser necessariamente o conceito físico, podemos usar uma espécie de conceito subliminar, uma metáfora ou um mesmo um tema, tomando-se a liberdade de citarmos aqui alguns grandes “designers” da web: David Siegel [17], Roger Black [18] e Will Harris [19].

Para o segundo item a discussão é facilitada. O melhor exemplo é o livro-texto amplamente utilizado desde os anos 60 em todo o mundo: Física de David Halliday e Robert Resnick [20]. De acordo com os autores: *Por quatro décadas este livro tem sido a referência para muitos cursos introdutórios baseados em cálculo, sendo reconhecido pela sua apresentação clara e completa. Esta edição tem por fim torná-lo mais acessível sem comprometer o nível ou o rigor de seu conteúdo. O texto foi em grande parte reescrito, para estabelecer uma maior continuidade ao fluxo do material e facilitar a introdução do estudante a assuntos novos.*

As pesquisas no ensino de física revelam dificuldades dos estudantes em relação aos conceitos de energia [21] e dificuldades associadas à forma convencional da apresentação da conservação de energia [22, 23]. Estes estudos permitem que ocorra uma abordagem mais coerente em relação a energia, especialmente no que diz respeito à parte que liga a mecânica a termodinâmica. Outra pesquisa realizada por Laws [24] com o intuito de promover uma melhor compreensão das leis de Newton, propôs uma reordenação dos tópicos da mecânica introdutória, na qual a conservação da energia mecânica é apresentada somente após um estudo completo da mecânica vetorial, incluindo-se sistemas de partículas e conservação da quantidade de movimento. Com a intenção de tratar a freqüente associação que os estudantes fazem da aceleração com a velocidade em vez de fazê-la com a força, foi necessário fazer-se uma reordenação dos capítulos, apresentando o material sobre dinâmica com mais antecedência. Esta antecipação é parte integrante de outros livros-texto [25, 26]. Esta seqüência permite que a força centrípeta seja introduzida juntamente com a discussão do

movimento circular uniforme. Também é possível a rápida associação entre força gravitacional e aceleração gravitacional para obliterar significados “errôneos” sobre a identificação da intensidade e da direção da aceleração no movimento de projéteis.

Outras propostas foram tentadas e desenvolvidas, inclusive para o ensino médio. Entre estes materiais educativos podemos citar [27]: o Física-PSSC (Physical Science Study Committee) do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), o IPS (Introductory Physical Science); o da Universidade de Harvard, o PEF, o PBEF e o FAI. Estas propostas mostraram-se inviáveis a nossa realidade educacional. Outro material didático é o GREF [28] do Instituto de Física da USP e não podemos deixar de citar o livro-texto do Professor Nussenzweig [29]. Nos materiais instrucionais virtuais percebe-se a transposição de textos e figuras, mantendo-se também a mesma estrutura lógica encontrada na maioria dos livros didáticos. Apenas acrescenta-se a animação em forma de figuras animadas e em casos específicos produz-se e intercala-se a animação interativa entre textos e figuras.

Refletindo sobre o terceiro item, apesar de que realmente estas tentativas configuram-se como um avanço, no entanto, dificilmente se estabelecerá a *reconciliação integrativa*. O ensino continua a ser seqüencial começando-se por explorar o particular até chegar ao caso mais geral. A idéia original de separar os assuntos em capítulos e seções sem a preocupação de subir e descer na hierarquia conceitual e não chamar a atenção para diferenças e similaridades importantes e reconciliar inconsistências reais ou aparentes, que de acordo com Ausubel é a *reconciliação integrativa*, um princípio facilitador da aprendizagem significativa, é o oposto ao estilo de texto escrito nos livros-texto, sendo muito resistente a mudanças. Isto se dá provavelmente por ter sido aceita e entendida de forma significativa. Diríamos ainda que a perspectiva tradicional em culpar os alunos pelo fracasso no ensino é um fator influenciador a ser discutido profundamente por alunos, professores e estudiosos.

Com a animação interativa não teríamos dificuldades em incorporar, atualizar, modificar os conceitos ou proposições ou as formas de apresentação destes conceitos ou proposições, atendendo aos avanços e resultados de pesquisas. Como exemplo, na interpretação de gráficos, o emprego do fator que realmente faz a diferença no aprendizado segundo Beichner é a interatividade com o experimento [30] e de modo dinâmico com o uso do Modellus [31]. Também, as discussões pertinentes e dúvidas dos alunos podem ser progressivamente diferenciadas para se chegar aos casos particulares tendo-se inicialmente apresentado a idéia mais inclusiva. Ao mesmo tempo, outros exemplos podem ser frutos de uma curiosidade ou de uma necessidade programática para interligar as várias partes de um

material para que se possa influenciar a *reconciliação integrativa*. A animação interativa propõe-se a desenvolver simultaneamente a *diferenciação progressiva* e a *reconciliação integrativa*.

Não esqueçamos que a *animação interativa* é um programa de computador escrito em uma linguagem de programação como o próprio JAVA. Esta característica é suficiente para desenvolver o potencial criativo e *aprender a aprender*. Devidamente instruídos um professor-programador ou um programador com o apoio metodológico de um professor está capacitado a criar aplicativos a partir de uma certa linguagem de programação. Neste caso enquadram-se Modellus escrito em C para interatividade off-line e EJS escrito em JAVA para interatividade on-line ou mesmo a linguagem de programação Jython (Python escrito como uma class em Java). A capacidade destas animações interativas permite inclusive o desenvolvimento de instrumentos de metacognição como é o caso do aplicativo CMapTools [32] em que os alunos podem empregá-los para o estudo conceitual com interatividade. A animação interativa permite também a negociação de significados entre o aluno e o computador sem a influência direta do professor como um recurso para a Educação a Distância. O aluno escolhe em que referencial teórico das estratégias facilitadoras ele quer aprender.

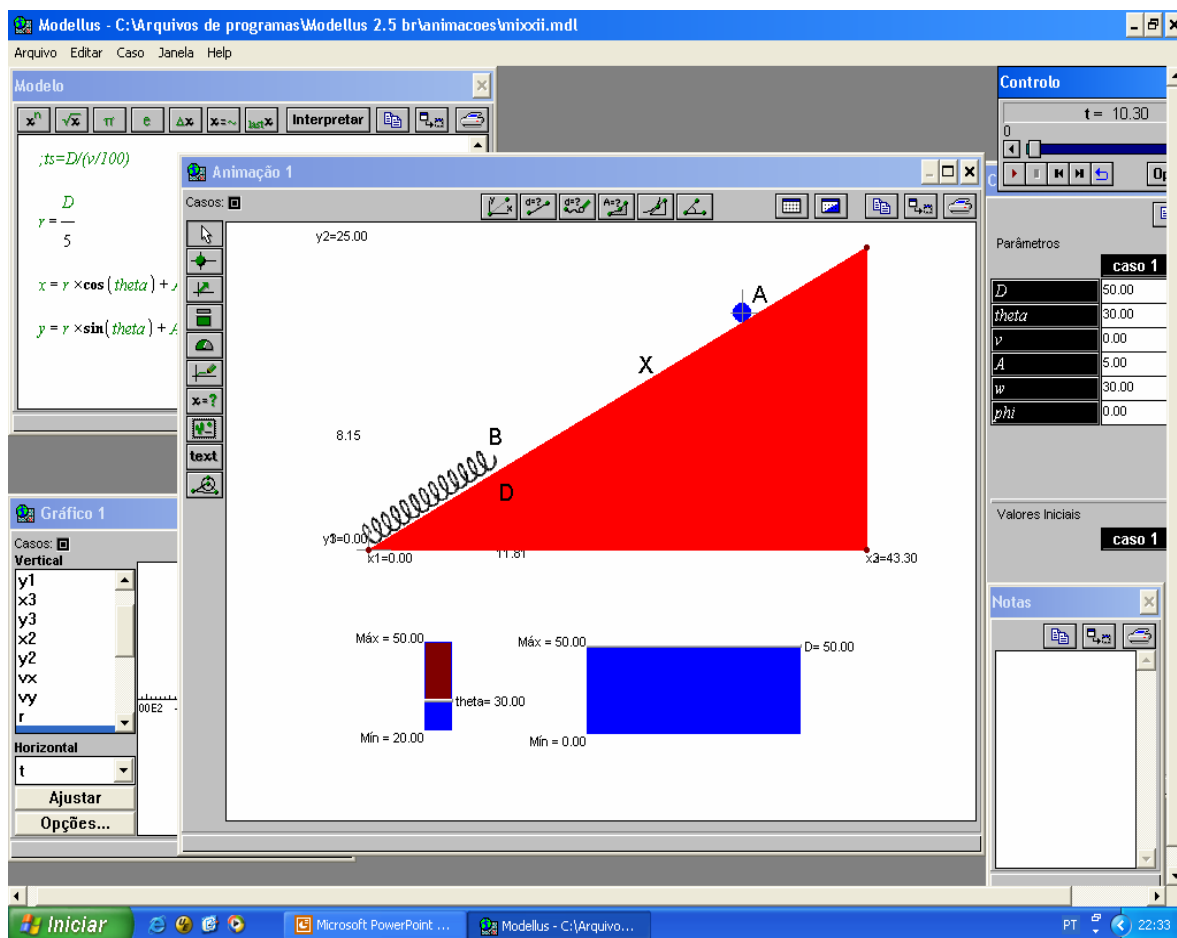
Na possibilidade de vivenciarmos o item (iv) a animação interativa poderá agir como organizador prévio, apesar de acreditarmos que este aparato seja suficiente para que o significado psicológico do material instrucional já tenha sido incorporado a sua estrutura cognitiva de maneira significativa. Uma animação de qualidade pode representar com muita fidelidade um fenômeno físico e a abstração necessária para o entendimento desse fenômeno é visivelmente apresentada na dinâmica.

### **3.3.3. Uma rápida análise de um problema de conservação da energia com o uso da animação interativa**

Em um exemplo típico de um problema de conservação da energia, existe atrito com coeficiente de atrito dinâmico  $\mu_c$  e coeficiente de atrito estático  $\mu_e$  entre o bloco e o plano inclinado de comprimento  $d$  e um ângulo de inclinação  $\theta$  em relação ao eixo horizontal. Em sua base encontra-se uma mola de constante elástica  $k$  e de uma certa distância em relação aos eixos de referência, colocado na posição de compressão máxima da mola, é liberado um corpo de massa  $m$ . Para a solução tradicional deste problema, devemos escrever apenas a “fórmula” dada por  $-f_a d = \Delta K + \Delta U^{(g)} + \Delta U^{(m)}$  entre os pontos AB, BC, CD e DX onde X



é o ponto em que o corpo tem velocidade nula no plano inclinado visualizados na Fig. 3.4, criado através do aplicativo proprietário Modellus. Além disso, é necessário apenas escrever a “fórmula” para a força de atrito em função da força normal. É evidente que o processo de descer e subir no plano inclinado pode ocorrer várias vezes, mas estamos considerando apenas a primeira descida, o corpo apenas tem energia suficiente para subir no plano inclinado mais uma vez.



**Figura 3.4.** Um problema sobre a conservação da energia envolvendo plano inclinado, mola e atrito.

Para a resolução do exemplo acima com o emprego da animação interativa em Modellus ou Python se faz necessário a presença de pelo menos dois fatores: uma maior dedicação e um grande entendimento conceitual do aluno. Empregando a proposição  $-f_a d = \Delta K + \Delta U^{(g)} + \Delta U^{(m)}$ , ou seja, a variação de cada uma das formas de energia potencial, gravitacional e elástica, além da cinética, para os conjuntos de pontos já discutidos, é igual a força de atrito vezes a distância. Apenas mais uma proposição que dá a força de atrito em função da normal, não é suficiente para a visualização da

animação. O aluno precisa escrever a segunda lei de Newton para encontrar a aceleração  $a$  do bloco, determinar a velocidade do corpo em cada intervalo escrevendo as equações de velocidade e escrever as equações de movimento horizontal e vertical no plano inclinado,  $x$  e  $y$ .

Para completar a animação em Modellus, escrever as projeções de todos os vetores no plano cartesiano tradicional se for de seu desejo que estes apareçam, além de criar o plano inclinado como um desenho ou com o uso do ícone criador de vetores do Modellus. A mola pode ser um desenho criado em gif<sup>7</sup>, bmp<sup>8</sup> ou um vídeo avi<sup>9</sup> e deve ser controlada a partir da equação de deslocamento do Movimento Harmônico Simples (MHS), por exemplo, a partir da analogia com o Movimento Circular Uniforme (MCU). O aluno pode facilmente visualizar os gráficos de todas as grandezas envolvidas em função de qualquer uma delas, inclusive o balanço de energia potencial e cinética e também as quantidades de energias perdidas para o plano inclinado e para o aumento da energia interna do corpo. Determinar o trabalho de cada uma das forças envolvidas e a potência instantânea. Ou mesmo verificar a relação entre a proposição que dá a energia cinética e a quantidade de momento linear. A partir deste instante, o aluno pode controlar a animação interativa ajustando as condições iniciais do problema como ângulo, tamanho do plano, posição inicial do bloco, massa e o controle do tempo entre outras grandezas.

Neste exemplo, o aprendiz precisou empregar os conhecimentos sobre conservação da energia, dinâmica, cinemática, vetores, projeções, trabalho, potência e quantidade de movimento. Ainda tivemos Movimento Harmônico Simples, com as equações de movimento, frequência e período. Também, o cálculo detalhado da aceleração na região sob a mola devido a presença do atrito. Todo o conteúdo de um curso de Física Geral I foi abordado nesta animação interativa e assuntos referentes a Física Geral II também fez parte do conhecimento deste aprendiz. A animação interativa apresenta todos os conceitos, a relação entre eles, proporcionalidade direta ou inversa, as proposições e as relações entre as proposições. Pode-se com isso, subir e descer na hierarquia conceitual muito rapidamente e não se permite que assuntos vistos em etapas anteriores sejam completamente obliterados. Como o processo de *assimilação obliteradora* característico de toda a aprendizagem significativa é inevitável [1], procuramos com o uso das animações interativas, facilitar a construção de conceitos subsunçores modificados, estáveis e diferenciados na estrutura cognitiva.

---

<sup>7</sup> Graphic Interchange Format da CompServer. Tipo de arquivo gráfico com extensão gif empregado para criação de figuras e animações. O seu emprego na Internet é bastante difundido.

<sup>8</sup> Bit Map (Mapeamento de Bits) da IBM. Tipo de arquivo gráfico com extensão bmp para criação de figuras.

<sup>9</sup> Audio Video Interleaved da Microsoft. Tipo de arquivo gráfico com extensão avi para animações ou filmes.

### **3.4. O processo de avaliação e o emprego das animações interativas**

Para a avaliação ser justa precisa-se primeiro identificar todos os possíveis problemas encontrados no ensino de Física. Feito este levantamento, ensinar adequadamente para efetivamente desenvolver a mudança conceitual. E para finalizar, avaliar se aqueles significados aceitos e discutidos pelos aprendizes são de fato os justificados como “corretos” pelo público da academia. O finalizar aqui colocado não é uma padronização, avaliar ao final de cada etapa. Com a animação, a avaliação é efetivada a cada momento. A cada novo contato entre o estudante, o professor e a animação, uma espécie de entrevista está em desenvolvimento, a negociação de significados se estabelece e podemos identificar o nível de envolvimento do aluno com o conteúdo programático e determinar as dificuldades de aprendizagem deste indivíduo.

A seguir procuramos reunir vários possíveis problemas encontrados para o ensino de física. Algumas informações já estão distribuídas pelos capítulos e seções iniciais da dissertação e serão enfatizadas as várias áreas do conhecimento humano; contextos históricos, sociais, trabalhistas; diversidade de inteligências e metodologias. No Brasil, o reduzido investimento em pesquisas é um problema crucial para todas as áreas.

#### **3.4.1. Levantamento dos problemas que dificultam o ensino de Física**

Entre as limitações para o entendimento da Física no Brasil temos as seguintes possibilidades: limitações históricas, incluindo-se aqui as deficiências em investimento para pesquisas e limitações de ordens filosófica, metodológica e conceitual. A Tabela 3.1 apresenta alguns pontos importantes para as limitações de ordem histórica. Percebemos o tardio ingresso do Brasil no estudo da disciplina Física e neste caso, apenas a região monopolizada pelo Rio de Janeiro, no colégio Pedro II. Como sempre, as academias militares também desfrutavam desta inovação. No Brasil, as questões utilitárias sempre fizeram a diferença e investimentos nestas áreas eram prioritários. No período entre a independência e o começo do século XX basicamente investiu-se em medicina (erradicar algumas doenças) e biologia (catalogação de animais e plantas).

As questões de ordens filosófica, metodológica e conceitual são inúmeras. Não apenas no Brasil, mas em todo o mundo, ocorrem os déficits de aprendizado. É evidente que a tradição em estudar Física e desenvolver a capacidade de criação é cultural, próprio de países desenvolvidos. Apenas estamos em um processo inicial de desenvolvimento

científico e a mentalidade de nossos jovens aprendizes não está sendo efetivamente modificada pelas ações dos professores.

**Tabela 3.1.** Questões de ordem histórica e estrutural que dificultaram o ensino de Física.

Déficits importantes	Falhas históricas que dificultam o ensino de Física
1.	Surgimento tardio da disciplina Física de forma autônoma. Esta disciplina foi introduzida no currículo escolar brasileiro no ano de 1837 com a Fundação do Colégio Pedro II no Rio de Janeiro;
2.	A graduação em Física no Brasil teve seu início regular apenas em 1934, com a criação de “Sciencias Physicas” na Faculdade de Philosophia, Sciencias e Letras” da Universidade de São Paulo (USP);
3.	A intensificação da pesquisa se deu no Brasil apenas na década de 60 na área da educação e nos anos 70 na área do ensino de ciências com a implantação dos primeiros programas regulares de pós-graduação em Ensino de Ciências na USP e na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS);
4.	Poucos centros de pesquisa sobre o ensino de Física;
5.	Falta um grande canal para a divulgação dos avanços obtidos em várias linhas de pesquisa: modelagem, filosofia, história, materiais alternativos entre outras.

A Tabela 3.2 procura resumir os principais problemas enfrentados por professores e alunos nesta difícil tarefa de compartilhar significados para garantir um grau de abstração necessário, indispensável para o entendimento dos conceitos e proposições da Física. Podemos citar muitos outros limitadores do aprendizado, no entanto, acreditamos que estes itens forneçam um retrato bem realista do problema. Nardi [27] apresenta várias dificuldades catalogadas em pesquisas em todo o Brasil. Explicitamente as concepções pré-newtonianas estão muito presentes na mente da maioria dos alunos e o ensino tradicional não cria uma capacidade de reflexão sobre as concepções corretas.

### **3.4.2. Proposta de solução para os problemas que dificultam o ensino de Física**

Identificado o problema, devemos planejar e implementar as mudanças. Inicialmente, precisamos escrever um novo livro didático e isto requer um certo tempo. A solução imediata é adotar vários livros e encadear a seqüência lógica do material com capítulos não seqüenciais.

**Tabela 3.2.** Problemas filosóficos, metodológicos, psicológicos e conceituais que dificultam o ensino de Física.

Quantidades levantadas	Descrição do problema
1.	A maioria dos educadores julga ser a lógica uma capacidade de raciocinar inata ao ser humano;
2.	Acredita-se que a Física deva ser ensinada como se tratasse de verdades acessíveis por meio da linguagem (mais ações fictícias ou narradas) ao invés de se principiar pela ação real ou material.
3.	A Física Básica é vista como uma simples coleção de fórmulas;
4.	Dificuldades de conexão entre os assuntos estudados na matemática com aqueles estudados na física;
5.	Base em física deficiente, pouco entendimento conceitual. Os aprendizes não têm os subsunçores adequados, conceitos ou proposições claros, estáveis, diferenciados ou estão obliterados;
6.	Avaliação baseada em notas apenas. A mensuração faz parte da metodologia tradicional de avaliação dos anos 20-30, mas muito presente nos nossos dias;
7.	Ensino fragmentado. Emprego do reducionismo. Não existe a exploração explícita de relações entre proposições e conceitos;
8.	Falta de descrição (“feedback”). Devemos detalhar o que o aluno errou;
9.	Falta de afetividade. A empatia é elemento indispensável;
10.	Pouco tempo para realizar as atividades estudantis em se tratando dos alunos do período noturno, que normalmente trabalham durante o dia. Nesta dissertação, os alunos avaliados são deste período de estudo;
11.	Baixíssimas notas, indicando um possível histórico de repetências e a conseqüente baixa estima;
12.	Ensino tradicional desvinculado da sua realidade;
13.	Parte do conteúdo programático descrito nos livros-texto e nos materiais educativos do currículo não é totalmente importante;
14.	A ordem em que os principais conceitos e idéias da matéria de ensino aparecem nos materiais didáticos e nos programas muitas vezes não é adequada para facilitar a interação com o conhecimento prévio do aluno;
15.	A aceitação como verdades absolutas dos conteúdos componentes dos livros-texto. Precisamos implementar a aprendizagem significativa crítica

Um texto didático resultante pode então ser disponibilizado em uma home page. A animação interativa produzida em um maior grau de inclusividade, apresenta também os detalhes e pode ser distribuída por todo o texto virtual. Neste caso não há o perigo de encontrarmos uma animação interativa com todos os assuntos totalmente desconhecidos dos alunos. Links são distribuídos nas páginas para acesso a outras páginas com assuntos idênticos em um nível de ensino médio e também em um nível superior aquele necessário para o ensino de Física Geral I. Esta forma de abordagem permite que alunos com níveis diferentes sejam estimulados a encontrarem respostas às suas indagações mais básicas. Qualquer alteração na seqüência lógica que facilite a aprendizagem é automaticamente modificada por simples alterações nos links.

Em linhas gerais, a solução deve enfatizar os itens listados na Tabela 3.3. Deve-se procurar antecipar para o aluno o que será feito nas próximas aulas com o intuito de direcionar o estudo. Fazer sempre um paralelo com o conhecimento prévio adquirido no ensino médio e com a sua realidade, comparado com os conhecimentos que estão em discussão. O óbvio para o professor pode ser e na maioria das vezes é, a dúvida do aluno. O objetivo da oitava ação é transformar o aluno em seu aliado na produção do conhecimento. Devemos incentivar a criação de animações interativas por este aprendiz e disponibilizá-la na home page para que os seus colegas possam desfrutar de mais um material potencialmente significativo. Nesta visão, cada aluno é visto como um pesquisador da área do ensino e está desenvolvendo ferramentas cognitivas para o emprego por outros constituintes participantes do processo de produção do conhecimento.

### **3.4.3. Aplicação prática em sala de aula presencial e virtual**

A aplicação prática destas idéias é levada a efeito do seguinte modo:

- (i) uso de páginas html, php ou semelhantes para a Internet;
- (ii) os gifs animados ou arquivos com extensão avi (usado com o Modellus) e swf podem ser intercalados entre textos e proposições. As demonstrações seriam desenvolvidas com estes recursos<sup>10</sup>;
- (iii) a linguagem de programação JAVA (possivelmente EJS) para atividade em tempo real é essencial para a apresentação do material;

---

<sup>10</sup> Shockwave flash da Micromedia. São arquivos gráficos vetoriais para a criação de animações ou vídeos para a Internet.

- (iv) o aplicativo proprietário Modellus para Windows criaria a maioria das animações interativas;
- (v) a linguagem de programação Python para facilitar a elaboração de aplicativos 3D e Jython (como uma classe escrita em Java) para aplicações via Internet<sup>11</sup>;

**Tabela 3.3.** Ações a serem empregadas para solucionar os problemas enfrentados no ensino de Física.

Quantidade mínima de ações	Ações a serem desenvolvidas
1.	Uso de animações interativas que servem como organizador prévio, ou seja, uma ferramenta para criar significado e modo de avaliação com participação na produção do conhecimento;
2.	Aulas com aprofundamento conceitual e discussão literal de problemas;
3.	Liberação de material mais inclusivo em aula anterior ao assunto que será apresentado ou no início de cada aula;
4.	Permitir discussões em sala de aula sobre assuntos diferentes do conteúdo (teoria da relatividade restrita, mecânica quântica) para aumentar o interesse da turma através da curiosidade;
5.	Apresentar o conteúdo em um nível de desenvolvimento proximal. Sempre além da capacidade atual do aluno, em um nível possível de entendimento com a ajuda do orientador;
6.	Fazer sempre um paralelo com o conhecimento prévio adquirido no ensino médio e com a realidade;
7.	Provocar desequilíbrios na estrutura cognitiva para ocorrer uma adaptação futura com conhecimentos mais detalhados e ampliação dos conceitos subsunçores já disponíveis;
8.	Desenvolver a capacidade de pesquisa e da avaliação crítica do material em estudo;

Em termos da forma como a aula será ministrada, temos três possibilidades:

- (i) **Aula expositiva com quadro e giz.** A aprendizagem significativa surgiu com Ausubel exatamente para ser empregada em salas de aulas. A tecnologia do ensino como suporte educacional, máximo do comportamentalismo de Skinner, era extremamente caro para o uso em

<sup>11</sup> Python é uma linguagem de programação de plataforma cruzada. Seus programas fontes podem ser executados em qualquer sistema operacional. [www.python.org](http://www.python.org).

unidades escolares. Na década de 60 falava-se apenas em estímulo-resposta e não em significados;

- (ii) **Aula com o computador na presença do professor.** A aprendizagem significativa mantém-se ativa em sua base teórica. No entanto, ensinar física em sala de aula com o recurso apenas da linguagem e com o suporte de materiais que não apresentam o dinamismo da evolução temporal de um evento, é uma tarefa muito mais difícil. Não se fala mais em tecnologia do ensino. A Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) avançou muito rapidamente e podemos inclusive tratar objetos das linguagens de programação e conceitos na linguagem cognitiva como elementos de uma mesma classe. Nos dias atuais as ferramentas cognitivas (animações interativas) são capazes de criar significados diferentemente das máquinas de Skinner. Isto é primordial para a aprendizagem significativa;
- (iii) **Aula virtual com o uso de uma home page.** A mesma informação contida em páginas html off-line, poderá ser submetida a um servidor para o acesso por parte dos alunos via Internet. O importante é que o aluno virtual é muito mais acompanhado do que um aluno presencial. Temos total controle de sua caminhada em busca das informações disponíveis na página.

#### **3.4.4. Avaliação da aprendizagem significativa**

A avaliação do modo tradicional emprega a *mensuração* como forma de avaliar o aprendizado. Este foi um padrão desenvolvido e empregado nas décadas de 20 e 30, para verificar o rendimento escolar por aplicação de testes sem uma recuperação, dava-se uma nota, sem outras avaliações. Não é novidade para nenhum de nós, visto que o emprego deliberado desta forma de avaliação é corriqueiro e muito conhecido do mundo científico.

Nas décadas de 40 e 50, a avaliação sofreu um avanço graças a Ralph Tyler [33] considerado o pai da avaliação, criando o que chamamos de *descrição*. Tyler introduziu a necessidade de perceber os objetivos alcançados traçados pelo professor. O professor deveria detalhar o que o aluno errou, enfatizando o que é importante para o assunto ou não. Nesta forma de avaliação, o ensino deveria trabalhar o elementar até chegar ao complexo.



Observa-se aqui a estreita relação com a abordagem comportamentalista representada por Skinner.

Nas décadas de 60 e 70 a avaliação era entendida como um juízo de valor ou um *juízo de valor* devido a Luckezi [34]. Para Luckezi a *avaliação é um julgamento de valor, sobre manifestações relevantes da realidade, tendo em vista uma tomada de decisão*. É preciso analisar com critérios buscando a qualidade sobre os dados importantes do objeto, que neste caso é a própria avaliação. Os professores deveriam comentar os pontos do exercício, buscando mudar a situação para que a partir de uma *tomada de decisão*, pudesse permanecer com, anular ou acrescentar algo as atividades trabalhadas.

Nos anos 90 o processo avaliativo passou a ser visto como uma *negociação*. De acordo com Tereza Penna Firme [35] a avaliação deve ser um processo em que as partes envolvidas – alunos e professores – devem levantar suas propostas para se chegar a um *acordo*. Normalmente o professor sugere vários modos de avaliação e a partir de uma *conversa* ou discussão na sala de aula, as partes chegam a um *consenso*.

A Tabela 3.4 mostra as quatro etapas do processo de *negociação*. A participação dos alunos ocorre de forma efetiva escolhendo os modos de avaliação que mais os agrada. Definida a metodologia, a verificação de resultados é um processo dinâmico, com possibilidades de mudanças no decorrer do curso em um processo de reconstrução. No processo ensino-aprendizagem o interesse é preparar o estudante e no processo de avaliação o intuito é verificar se o estudante desenvolveu-se da maneira esperada.

**Tabela 3.4.** Etapas necessárias em um processo de negociação para a avaliação da aprendizagem.

NEGOCIAÇÃO	Participação	Para encontrar as formas de avaliação (alunos e professores)
	Construção	Fazer o trabalho
	Consenso	Vê os prejuízos para os dois lados
	Reconstrução	Podemos refazer o trabalho muitas vezes

Para avaliarmos a aprendizagem precisamos ainda definir os critérios a serem utilizados. São dois os critérios empregados e nesta dissertação apenas o segundo será desenvolvido. O primeiro é o critério *relativo* cuja avaliação baseia-se em normas, reforça as desigualdades sociais em sala de aula e apenas uma nota é o resultado da

avaliação do aluno, com o objetivo de comparar os resultados. O segundo é o critério *absoluto*, sendo que este é alicerçado em modelos pré-estabelecidos e a avaliação é baseada em critérios.

No processo avaliativo devemos diferenciar o termo *medida* do termo *avaliação*. A medida revela o quanto o aluno possui de determinada habilidade, enquanto a avaliação informa sobre o valor dessa habilidade. De acordo com Souza [36], a medida descreve os fenômenos com dados quantitativos (a nota), enquanto a avaliação descreve os fenômenos e interpreta-os utilizando, também, dados qualitativos (trabalhos diários, observações e registros). Souza afirma ainda que há um desvio na forma como se utiliza a avaliação da aprendizagem, no sentido em que é utilizada como forma de punição contra os alunos, por exemplo, uma prova surpresa é uma atitude inadequada. Também se percebe uma preocupação com a função administrativa, ou seja, a exigência de uma nota final sem uma interpretação para a orientação de recuperações necessárias, melhoria dos procedimentos, melhoria dos procedimentos didáticos e avaliação da própria avaliação.

Com o modelo tradicional, dito modelo passivo de aprendizado, os alunos raramente interagem produtivamente e onde o estímulo é a nota e não o conhecimento. Neste modelo, a avaliação da aprendizagem é a resolução de problemas padrões, sem mudar a maneira como entendem o mundo ao seu redor. Os alunos então adotam as seguintes estratégias [37]: concentrar em memorização, ao invés do entendimento; estudar nas vésperas de provas para obter notas ao invés do conhecimento; utilizar para auto-avaliação somente notas, ao invés de refletir sobre seu progresso; fragmentar o conhecimento, ao invés de pensar no que sabe como um todo; trabalhar sozinho, ao invés de articular idéias com seus colegas, solidificando-as e tentar predizer a visão do professor, ao invés de repensar sua própria e por último, aceitar as informações (mesmo sem acreditá-las), ao invés de questionar criticamente. Estas estratégias permitem uma atitude epistemológica em que a Física é uma coleção de conhecimentos e fatos desconexos. Não é surpreendente que pesquisas em ensino de Ciências mostrem que práticas passivas de ensino obtêm resultados inferiores [38, 39] e menos duradouros [40] do que práticas que usam modelos de envolvimento ativos [41].

Após a discussão da parte teórica da Avaliação da Aprendizagem vamos definir como será a avaliação da aprendizagem significativa. Na Seção 3.3 já determinamos que nesta dissertação o processo de aprendizagem seguirá a *negociação* de significados e não poderia deixar de ser diferente no seu processo de avaliação. O critério mais importante aqui estabelecido é a *animação interativa* e sua flexibilidade, pois com ela pode-se

discutir, questionar, modificar, atualizar e testar alternativas, juntamente com outras possibilidades como se observa na Tabela 3.5. Devemos empregar uma grande variedade de métodos de avaliação para que todo o conhecimento adquirido pelo aluno possa ser explicitado e julgado com clareza e responsabilidade.

### 3.5. Uma nova seqüência lógica para um livro didático

Nas seções anteriores, enfatizamos as formas de aprendizagem, estratégias facilitadoras, problemas, soluções, aplicações e modos de avaliação. As informações apresentadas neste Capítulo são baseadas nas teorias de grandes estudiosos em várias áreas do conhecimento para a melhoria do ensino como um todo. A Tabela 3.6 mostra o resumo destas teorias e a contribuição desta dissertação baseada no que foi discutido.

**Tabela 3.5.** Possíveis formas de avaliação a serem negociadas entre professores e alunos para o desenvolvimento do processo de aprendizagem.

Quantidade de possibilidades	Possibilidades de negociação
1.	Lista de exercícios conceituais;
2.	Lista de exercícios literais para discutir casos particulares;
3.	Discussão das animações apresentadas;
4.	Pesquisa e produção de suas próprias animações;
5.	Testes escritos com exploração conceitual;
6.	Pré-testes;
7.	Questões subjetivas sobre o entendimento das leis e princípios;
8.	Participação nas discussões em grupo;
9.	Testes para verificar a obliteração de significados pré-newtonianos;
10.	Análise de testes para avaliar a animação interativa como organizador prévio;
11.	Mapas conceituais de Novak;
12.	Vês Epistemológicos de Gowin;
13.	Seminários;
14.	Entrevistas;
15.	Resolução de testes com o emprego de animações interativas.

**Tabela 3.6.** Estudiosos e suas contribuições significativas para o ensino de um modo geral e especificamente para o ensino de Física, a partir da junção da filosofia construtivista com a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC).

Teorias	Resumo
Teoria da Aprendizagem de Piaget	Esta teoria construtivista de desenvolvimento cognitivo orientou os instrutores para a aplicação de métodos por descoberta e prima pela ação do indivíduo em sua relação com o meio. O objetivo é criar desequilíbrios e acomodações que mudará a estrutura cognitiva do aprendiz.
Teoria Sócio-Cultural de Vygotsky	Esta teoria construtivista dá uma maior ênfase ao aprendizado do aluno pela interação com os professores e colegas mais aptos envolvidos em um grupo social ou cultural. O ensino deve ser ministrado em um nível de desenvolvimento proximal, além da capacidade do aluno, mas possível de ser aprendido com a ajuda de um adulto. A negociação de significados faz parte desta teoria.
Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel	Esta teoria construtiva é orientada a significados, opondo-se ao comportamentalismo, afeito aos estímulos-resposta. O significado psicológico do material em estudo (incorporado pelo aprendiz a sua estrutura cognitiva de forma não-arbitrária e não-literal) é fruto de um material instrucional logicamente significativo e da disponibilidade de conceitos subsunçores, que são idéias, conceitos ou proposições relevantes para aprender o novo material de estudo.
Teoria da Educação de Novak	Esta teoria tem como conceito chave a teoria da aprendizagem significativa. Novak introduziu uma conotação humanista relacionada ao sentimento afetivo do aprendiz, assim, experiências afetivas positivas ocorrem quando a aquisição do conhecimento é obtida. Novak criou uma ferramenta de avaliação denominada de mapa conceitual.
Teoria de educação de Gowin	Em sua teoria, existe o que chamamos de “modelo de ensino de Gowin”. O compartilhar significados entre o aluno e o professor, para se atingir os conhecimentos pertinentes dos materiais educativos do currículo é necessário para se configurar um episódio de ensino-aprendizagem. Ao captar o significado, o aluno na parcela de responsabilidade que lhe cabe, deve decidir se quer aprender ou não significativamente. O professor não pode compartilhar desta decisão. Gowin criou uma ferramenta para estudar a produção do conhecimento denominado de Vê epistemológico.
Contribuição desta Dissertação	A ação do aluno em seu envolvimento com a animação interativa é um fator primordial para o compartilhar significado. A produção e a avaliação do conhecimento envolve o processo de empatia e de interesse pelas atividades sociais e relações de trabalho entre professores e alunos. Devemos identificar tanto os conceitos subsunçores quanto as razões psicológicas ou filosóficas que relacionam estes conceitos subsunçores com a sua realidade. Ao captar o significado, o aluno deve decidir ou não se deseja aprender significativamente, partindo-se da sua parcela de responsabilidade, após refletir sobre o seu papel transformador da sociedade.

Estes nomes são os responsáveis pelas considerações teóricas envolvidas nesta dissertação e pelos mecanismos de consolidação do conhecimento na estrutura cognitiva dos alunos de Licenciatura em Matemática do Curso Noturno da UFC, na disciplina Física Geral I. Em linhas gerais, a tabela apresenta as características de cada um destes personagens: Piaget, Vygotsky, Ausubel, Novak e Gowin. Também aproveitamos para enfatizar a contribuição desta dissertação: as relações de interesse, sociais e trabalhistas; a empatia, de modo que o envolvimento afetivo na visão de Novak, possa ser extrapolado para um padrão de envolvimento psicológico.

Fica muito evidente que estas teorias se contrapõem integralmente a manipulação tradicional do ensino e a seus métodos de avaliação. Na Tabela 3.7 mostramos as diferenças entre a metodologia atualmente utilizada e a nossa proposta baseada no que foi vislumbrado por todo este capítulo.

**Tabela 3.7.** Algumas diferenças entre a metodologia tradicional de ensino e a metodologia baseada na aprendizagem significativa com o emprego de animações interativas.

Metodologia Tradicional	Nova Metodologia
Linguagem natural	Linguagem natural e computacional
Quadro e giz	Quadro, giz e quadro virtual
Processos estáticos	Processos dinâmicos
Reduccionismo	Global antes do fragmentado
Ensino padronizado	Ensino orientado à pessoa
A avaliação é uma nota	A avaliação é um processo contínuo
Não há relação com o conhecimento prévio	O conhecimento prévio é essencial
Transcrição do livro-texto	Avaliação crítica do material instrucional
Manipulação de “fórmulas”	Clarificação de relações entre conceitos e proposições
Comparação e discriminação	Identificar as diferenças para ensinar adequadamente
Imposição de conteúdos	Compartilhar significados
Nenhum conhecimento sobre o aluno	Envolvimento com a realidade do aprendiz

A tabela não esgota as diferenças, apenas dá uma visão da radical distinção entre as metodologias. A metodologia tradicional é estática, enquanto que a metodologia construtivista é renovada e ampliada para a adaptação às exigências mutáveis do processo

de aprendizagem. Como a metodologia é flexível podemos testar algumas possibilidades e verificar qual a melhor que se adapta ao conjunto de alunos em Física Geral I. No entanto, podemos utilizar a primeira semana de aula para identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre as leis de Newton, conservação do momento, conservação da energia e sobre as concepções “errôneas”. Neste período, a discussão sobre as grandezas físicas fundamentais, massa, comprimento e tempo é essencial, assim como as suas medidas. Enfatize a proporcionalidade direta e inversa e mostre-as apresentando as relações entre conceitos ou entre as proposições. Nesta mesma semana, apresente os conceitos mais inclusivos como: força, conservação, energia e quantidade de movimento relativísticos. Discuta sobre os eixos de referência e brevemente sobre os referenciais inerciais. A animação interativa será uma forte aliada neste processo de desequilíbrio programado.

O curso começará com o assunto grandezas vetoriais tridimensionais utilizando-se o vetor posição, o vetor deslocamento, o vetor velocidade, o vetor momento linear e o vetor aceleração. Empregue o recurso da derivada para chegar à expressão da aceleração a partir do deslocamento e encontrar a expressão da força resultante a partir da definição do momento linear. Apresente aos alunos, um problema já resolvido, sobre a beleza e praticidade de uma equação vetorial, que pode acomodar uma grande quantidade de equações escalares, como por exemplo, o problema em que necessitamos encontrar as equações de movimento de um corpo rígido lançado no espaço. As proposições e as relações entre as proposições aparecem neste problema: segunda lei de Newton para translação e rotação, energia e momento angular.

Estamos prontos para apresentar o módulo do vetor e o vetor unitário visto que a esta altura, o estudo das componentes já foi desenvolvido. O próximo passo é apresentar a soma geométrica de vetores e a soma algébrica através das componentes. Com o produto de um número por um vetor não deixe de frisar a proporcionalidade direta entre os conceitos de momento e velocidade, força e aceleração, força elétrica e campo elétrico. Nas operações de produtos vetoriais especifique as várias proposições: trabalho, energia cinética, velocidade angular, torque, força magnética entre outras. Os exemplos sobre operações vetoriais podem ser casos reais relativos à natureza e aplicações sobre a cinemática linear vetorial.

Cabe aqui uma discussão detalhada sobre as três leis de Newton. A primeira lei deve ser enfatizada dentro do contexto dos referenciais inerciais a partir do estudo das velocidades relativas. Para abordar a segunda lei, voltaremos ao conceito inclusivo de força e diferenciando podemos falar em força que depende da posição, da velocidade, da

aceleração da gravidade. E enfatizar que o somatório de todas as forças que agem sobre um corpo, ou seja, a força resultante, é sempre proporcional a aceleração. Para o caso da terceira lei, o conceito mais inclusivo de força, deve ser ampliado, incluindo-se aqui não apenas a força de contato, mas a força devido a interação, associada a campos eletromagnéticos, campos gravitacionais, força forte, força fraca, como exemplos. Uma relação entre proposições poderá ser executada. Apresentar a ação e a reação a partir da conservação do momento linear devido à existência de resultante nula para o somatório de todas as forças externas agindo sobre o sistema.

O estudo do movimento de translação nas três dimensões e do movimento de rotação podem ser desenvolvido com a introdução da força de atrito. Outro módulo envolve polias, estática e plano inclinado com ou sem atrito. Aproveitando-se a formulação original da segunda lei de Newton, ou seja, a proposição que apresenta a força como a variação do momento linear, devemos introduzir o conceito mais geral de sistemas para estudarmos os sistemas de partículas. Uma salutar discussão sobre centro de massa é muito interessante. Aborde as grandezas posição, velocidade, aceleração, força e momento do centro de massa e retornando-se ao conceito de velocidade relativa, discuta todas estas grandezas relativas ao centro de massa. Neste momento, todos os problemas com uma partícula em três dimensões podem ser retomados agora para um sistema de partículas. Por exemplo, lançamento de vários projéteis para a identificação das grandezas associadas ao centro de massa e relativo a este.

O estudo de colisões pode ser abordado a partir do conceito de centro de massa. É perfeitamente possível retomar o conceito de conservação e introduzir o conceito de conservação do momento e da energia. E do conceito de energia, tratar de uma de suas formas, a energia cinética. Os vários tipos de colisões: elástica, inelástica, intermediária, bidimensionais são avaliadas com a noção de dois conceitos: do momento e da energia, com a abordagem do centro de massa.

Antes de diferenciarmos o estudo do conceito de energia, devemos proceder as relações entre proposições: segunda lei de Newton com energia cinética, momento linear com energia cinética, aparecendo assim, os conceitos de trabalho e potência. Voltando ao conceito mais inclusivo de força, aborda-se a força peso, a força da mola, a força de atrito e seus respectivos trabalhos. Amplia-se o estudo sobre o Teorema do Trabalho-Energia Cinética e progressivamente vai se diferenciando o conceito mais inclusivo de energia: energia potencial elástica e gravitacional, energia interna e outras formas de energia.

Tendo-se os conceitos subsunçores adequados sobre conservação da energia, devemos apresentar a conservação da energia mecânica e a relação com as forças ditas conservativas. Na seqüência procede-se a apresentação das forças não conservativas, enfatizando a conservação da energia, mas neste caso, não deve-se incluir a conservação da energia mecânica. É primordial enfatizar a diferença entre força de atrito vezes a distância e o trabalho da força de atrito. Devemos incluir na discussão e problemas sobre conservação da energia, a aplicação das leis de Newton e a cinemática do problema.

Determinada a seqüência lógica do material didático a ser tomado como livro-texto pelos alunos da disciplina Física Geral I do curso noturno de Licenciatura em Matemática da UFC, como visto de modo resumido na Tabela 3.8 e a divisão do material no semestre letivo, a próxima etapa é definir a metodologia a ser empregada. Esta etapa faz parte do próximo capítulo, Resultados e Discussão, onde mostraremos o desenvolvimento da abordagem metodológica e do modo de criação das centenas de animações interativas durante o período de avaliação e aplicação desta nova metodologia. A metodologia foi ajustando-se de acordo com o conhecimento mais aprofundado da reação dos alunos.

**Tabela 3.8.** Divisão dos assuntos em Física Geral I para a determinação da seqüência lógica do livro didático.

Título	Conteúdo
Conservação e Grandezas Físicas	Grandezas fundamentais e grandezas conservadas, proporcionalidade direta e inversa, relações entre proposições e conceitos.
Vetores	Definições, somas, produtos e exemplos realísticos com aplicações de cinemática linear.
Leis de Newton	Movimento relativo e referencial inercial; primeira, segunda e terceira lei com a aplicação da conservação do momento; aplicações: cinemática linear e circular; estática e polias; plano inclinado.
Colisões	Conservação do momento e momento relativo ao centro de massa; Colisões Elásticas, Inelásticas e Bidimensionais.
Sistema de Partículas	Relação entre força e momento; centro de massa; Momento relativo ao centro de massa e velocidade relativa.
Trabalho e Energia Cinética	Relações entre proposições, para que apareça o conceito de Trabalho e potência, Teorema do Trabalho e da Energia Cinética.
Energia Potencial	Conceito de força: gravitacional e elástica; força conservativa; relação entre a força e energia potencial.
Conservação da Energia	Plano inclinado, molas, atrito, variação de todas as formas de energias.



## Referências Bibliográficas

- [1] MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa** Editora UNB, 1999.
- [2] FIOLHAIS, C. e TRINDADE, J. Física no Computador: o Computador como uma Ferramenta no Ensino e na Aprendizagem de Ciências Físicas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 25, N° 3, 2003.
- [3] SANTOS, J. N. e TAVARES, R. A animação interativa como organizador prévio. In: Simpósio Nacional do Ensino de Física, 15. Anais. Curitiba, 2003.
- [4] AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**, Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 2ª edição, 1980.
- [5] NOVAK, J. D. **Uma teoria da educação**. São Paulo: Pioneira. Tradução de M. A. Moreira do original **A theory of education**. Ithaca, N. Y.: Cornell University Press, 1977.
- [6] AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicología educativa**. México: Edit. Trillas, 7ª reimpresión, 1995.
- [7] MOREIRA, M. A. **Ensino e aprendizagem: enfoques teóricos**. São Paulo: Editora Moraes, 1985.
- [8] MOREIRA, M. A.; MASINI, E. A. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes, 1982.
- [9] LUITEN, J., AMES, W.; ACKERSON, G. A meta-analysis of the effects of advance organizers on learning and retention. *American Educational Research Journal*, 70(6): 886, 1980.
- [10] GOWIN, D. B. **Educating**. Itacha, N. Y.: Cornell University Press, 1981.
- [11] VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 2ª edição, 1988.
- [12] FERREIRA, M. C.; CARVALHO, L. M. O. A evolução dos jogos na Física, a avaliação formativa e a prática reflexiva do professor. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Vol. 26, N° 1, 57-61, 2004.
- [13] SCHÖN, D. A. **Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem**. Porto Alegre: Artmed, 256 p., 2000.
- [14] MEDEIROS, A. e MEDEIROS, C. F. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Vol. 24, N° 2, 77-86, 2003.
- [15] HESTENES, D. *American Journal of Physics*, **55**, 440, 1987.
- [16] AIRASIAN, P. W.; WALSH, M. E. **Constructivist Caution**. *Phi Delta Kappa*, 78, 6, 444-449, 1997.
- [17] SIEGEL, D. **Creating Killer Web Sites**. 2ª Edição, Paperback, 1997.
- [18] BLACK, R. **Web Sites that Work**, Paperback, 1997.
- [19] HARRIS, W. Disponível em <<http://www.will-harris.com/design/books-i.htm>>. Acesso em: 2 de janeiro de 2005

- [20] RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; KRANE, K. **Física I**, Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 5ª Ed., 2003.
- [21] LAWSON, R. A.; McDERMOTT, L. C. Student Understanding of the Work-Energy and Impulse\_Momentum Theorems, *American Journal of Physics*, p. 811, 1987.
- [22] ARONS, A. Development of Energy Concepts in Introductory Physics Courses. *American Journal of Physics*, p. 1063, 1999.
- [23] ARONS, A. **Teaching Introductory Physics**. John Wiley & Sons, Capítulo 5, 1997.
- [24] LAWS, P. W. **A New Order for Mechanics**. Conference on the Introductory Physics Course. John Wiley & Sons, p. 125, 1997.
- [25] VERWIEB, F. L.; HOOFT, G. E. and SUCHY, R. R. **Physics – A Basic Sciences**. D. Van Nostrand Company, Inc. fourth ediction, 1962.
- [26] SEARS, F.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D. Física – Mecânica das Partículas e dos Corpos Rígidos. Livros Técnicos e Científicos Editora, 1983.
- [27] NARDI, R. (org.) **Pesquisas no ensino de física**. Escrituras Editora, 2001.
- [28] GREF. **Física**. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 3v.1993.
- [29] NUSSENZVEIG, H. M.. **Curso de Física Básica 1 - Mecânica**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda. 2ª edição, 1993.
- [30] BEICHNER, R. J. Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, v. 62, 750, 1994.
- [31] ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Atividades de modelagem computacional no auxílio à interpretação de gráficos da Cinemática. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.26, n.2, 179-184, 2004.
- [32] **CmapTools**, Disponível em <<http://cmap.coginst.uwf.edu/>>. Acesso em: 2 de janeiro de 2005.
- [33] TYLER, R. **Basic Principles of Curriculum e Instruction**, Chicago: Universidade of Chicago, 1949. **Princípios Básicos de Currículo e Ensino**, Porto Alegre: Globo, 1976.
- [34] LUCKEZI, C. **Avaliação da Aprendizagem Escolar**. São Paulo: Cortez Editora, 1995.
- [35] FIRME, T. P.. **Avaliação: Tendências e Tendenciosidades**. In: Ensino, Rio de Janeiro, v.1, n° 2, p. 5-12, jan-mar, 1994.
- [36] SOUZA, C. P. (org.) **Avaliação do rendimento escolar**. Editora PAPIRUS, 2ª edição, 1993.
- [37] BARROS, J. A.; REMOLD, J.; SILVA, G. S. F.; TAGLIATI, J. R. Engajamento interativo no curso de Física I da UFJF. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 26, N° 1, 63-69, 2004.
- [38] HAKE, R. R. *American Journal of Physics*. **66**, 6471, 1998.
- [39] HAKE, R. R. *American Journal of Physics*. **66**, 64, 2002.
- [40] BERNHARD, J. Does Active Engagement Curricula Give Long-Lived Conceptual Understanding? Edited by R. Pinto and S. Surinach, *Physics Teacher Education Beyond 2000*, (Elsevier, Paris, 2001).
- [41] ARONS, A. B. *A Guide to Introductory Physics Teaching*. New York and Toronto: John Wiley & Sons, 1990.

# Capítulo 4

## Resultados e Discussões

### 4.1. Introdução

Neste capítulo discutimos os detalhes e as mudanças metodológicas como um primeiro resultado obtido da análise dos alunos da disciplina Física Geral I, das orientações pedagógicas que servem para modificar a seqüência lógica de apresentação dos conteúdos e da abordagem através da concepção de ensino mais avançada e abrangente: Aprendizagem Significativa. Apresentamos as características conceituais dominadas pelos alunos no começo e no final do curso e as porcentagens de entendimentos sobre as concepções errôneas e corretas através da análise qualitativa dos dados. Discutimos sobre as atividades desenvolvidas pelos alunos e sobre o número de animações interativas produzidas a partir da resolução de aproximadamente 500 exercícios e problemas, além da análise do questionário preenchido pelos alunos. Desenvolvemos todo um levantamento estatístico dos últimos 10 semestres com as médias dos alunos que estudaram a disciplina Física Geral I (CD256) ou semelhantes como: Mecânica I e Física Geral. Fazemos também a análise apenas com a disciplina Física Geral I (CD256) neste período de dez semestres e comparamos com os resultados obtidos nesta dissertação. Para finalizar, apresentamos as curvas normais resultantes desta análise e o comportamento médio dos alunos cursando a disciplina Física Geral II.

### 4.2. Metodologia

A constante avaliação do processo educativo permite que uma criteriosa verificação dos resultados seja obtida e por comparação com os objetivos do professor, determinar se os mesmos estão sendo alcançados. Esta dinâmica define a mudança metodológica, ou alterações de procedimentos dentro do marco teórico estabelecido. Os atores do processo educativo em avaliação são descritos em um primeiro momento e na seqüência, enfatizamos a descrição da metodologia empregada.

### **4.2.1. Definição do universo**

O universo é composto por 89 alunos do curso de Matemática da Universidade Federal do Ceará (UFC), cursando a disciplina Física Geral I no período noturno, divididos em dois semestres consecutivos: 42 alunos em 2003.2 e 47 alunos em 2004.1. Estes alunos apresentam idades em 19 e 45 anos e estão distribuídos de acordo com as seguintes profissões: policiais militares, guardas municipais, comerciários, professores de escolas públicas e particulares, representantes comerciais, projetistas, autônomos, carteiros, donas de casas, motoristas, estudantes, industriários, técnico em eletrônica, entre outras atividades.

### **4.2.2. Definição da amostragem**

A amostragem é composta por 69 alunos do Curso de Matemática da Universidade Federal do Ceará (UFC) cursando a disciplina Física Geral I no período noturno, divididos em dois semestres consecutivos: 34 alunos em 2003.2 e 35 alunos em 2004.1. Estes 69 alunos apresentaram idades em 19 e 45 anos e compareceram regularmente as aulas ministradas desde os primeiros dias letivos. Os outros 20 alunos, divididos da seguinte forma: oito alunos em 2003.2 e doze em 2004.1, estavam oficialmente matriculados, no entanto, não comparecem a esta instituição de ensino para cumprirem com suas responsabilidades como estudantes. Portanto, a amostra, neste caso, é entendida como o próprio universo. Usaremos este mesmo procedimento para a comparação dos dados obtidos neste trabalho e com a avaliação quantitativa das notas médias das turmas obtidos nos últimos dez semestres na UFC para a disciplina Física Geral I e semelhantes.

### **4.2.3. Coleta de dados**

A coleta dos dados abrangeu uma visão qualitativa nos seguintes casos:

- (i) Através da comparação do resultado conceitual entre uma certa atividade em dois momentos distintos;
- (ii) Nas atividades de pesquisa foram avaliadas as evoluções conceituais do aprendizado;
- (iii) Nas atividades com o computador, anotou-se o nível de motivação dos alunos em relação a sala de aula;
- (iv) Avaliação da análise crítica da metodologia;

- (v) Considerou-se a qualidade e a utilidade da animação interativa para o aumento do conhecimento médio do grupo.

A coleta dos dados abrangeu uma visão quantitativa nos seguintes casos:

- (i) Resultados dos testes conceituais, testes numéricos e conceituais;
- (ii) Análise dos trabalhos de pesquisa;
- (iii) Avaliação dos Pré-Testes
- (iv) Produção das animações interativas;

#### **4.2.4. Instrumentos de coleta de dados**

Os instrumentos adotados para a coleta de dados foram:

- (i) Análise crítica dos alunos referente a metodologia empregada: professor, aluno, animação interativa e atividades em geral;
- (ii) Comparação entre as atividades de pesquisa e o desempenho nas provas conceituais e numéricas;
- (iii) Reação e comportamento do aluno no desempenho diante do computador para a criação das animações interativas. Isto é pode ser considerado como uma forma de entrevista;
- (iv) Resumos escritos ou falados no final das aulas;
- (v) Avaliação continuada em sala de aula e nas aulas extras (horários de dúvidas);

#### **4.2.5. Descrição da metodologia**

Para esta dissertação empregamos duas metodologias. À primeira, no semestre 2003.2, dividimos a turma em dois grupos em um primeiro momento para detectarmos as diferenças de aprendizado entre o grupo de controle com 17 alunos sem acesso as animações interativas, chamados de G2003.2a e o grupo experimental também com 17 alunos, mas com o apoio do recurso instrucional animações interativas. Este grupo foi denominado de G2003.2b. Os alunos, nos horários definidos para as dúvidas, eram submetidos ou não a apreciação da animação interativa, respectivamente, o grupo G2003.2b e G2003.2a. Em um segundo momento dividido em duas fases, no mesmo semestre, estes alunos foram submetidos a mesma metodologia, agora com a referência G2003.2c. No semestre seguinte, a mesma metodologia aplicada ao grupo G2003.2c foi aplicada a todos os alunos do grupo G2004.1 (primeiro semestre de 2004). Esta divisão no semestre 2003.2 foi necessária por dois

motivos: (i) a ausência de professores que pudessem ministrar suas aulas a partir de uma nova seqüência lógica e (ii) a garantia de que os alunos na sala de aula teriam acesso as mesmas informações.

O conteúdo programático de Física Geral I para a disciplina de código CD256, objeto de investigação desta dissertação, inclui dez tópicos: medição, movimento em uma dimensão, vetores, movimento bi e tridimensionais, dinâmica I (leis de Newton sem atrito), dinâmica II (leis de Newton com atrito), trabalho e energia, conservação da energia, sistemas de partículas e colisões. A nova distribuição para a aplicação metodológica que atende a esta exigência curricular está diretamente relacionada com a seqüência definida no livro didático proposto na Seção 3.5. A Tabela 4.1 mostra a seqüência lógica do material distribuída por 15 semanas, para uma carga horária de 90 horas-aula distribuídas em 6 créditos semanais. O assunto, cinemática linear, poderá começar a ser estudado como uma aplicação de Vetores, visto que a discussão sobre os assuntos mais inclusivos, no caso força, já foi desenvolvida.

Devemos frisar que a divisão aqui é apenas didática, mas todo o texto apresenta as relações entre conceitos e proposições, subindo e descendo na hierarquia conceitual, enfatizando-se sempre o assunto já abordado com a apresentação corrente dos conceitos mais inclusivos. Outras ementas incluem também sistemas em rotação e momento angular. Em qualquer uma das possibilidades já devemos fazer uma ponte com os assuntos Gravitação, Movimento Harmônico Simples, Ondas, Termodinâmica, Eletricidade, Magnetismo, Relatividade e Mecânica Quântica. Os conceitos mais inclusivos de campos e as relações com a força já foram discutidos e isto é importante para o estudo da Eletricidade e do Magnetismo.

Para a ementa que envolve rotação e momento angular, o capítulo sobre Vetores será ministrado juntamente com o capítulo sobre Introdução à Física. Os assuntos abordados na terceira e quarta semanas, movimento relativo, referenciais inerciais e as discussões sobre as leis de Newton, farão parte agora de uma única semana. Os capítulos sobre colisões e sistemas de partículas são antecipados agora para a nona e décima semanas. Nas duas semanas seguintes, a décima primeira e a décima segunda, aborda-se a rotação e o momento angular. Na seqüência, faz-se a discussão detalhada sobre energia e inclui-se além da tradicional ênfase dada à energia de translação, a energia de rotação, com o estudo de polias e suas massas reais. Esta nova distribuição atende as exigências destas ementas, por exemplo, o curso de Física Geral I da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) em que o sistema de créditos é semestral para todos os alunos.

**Tabela 4.1.** Distribuição de capítulos por semanas que segue a nova abordagem metodológica para a ementa da disciplina CD256.

Capítulo	Semana	Conteúdo
Introdução à Física	1 <sup>a</sup>	Grandezas fundamentais, proporcionalidade direta e inversa, relações entre proposições e conceitos.
Vetores	2 <sup>a</sup>	Definições, somas, produtos e exemplos realísticos com aplicações de cinemática linear.
Leis de Newton	3 <sup>a</sup>	Movimento relativo e referencial inercial.
	4 <sup>a</sup>	Primeira, segunda e terceira lei e a conservação do momento.
	5 <sup>a</sup>	Aplicação – cinemática linear
	6 <sup>a</sup>	Aplicação – cinemática circular
	7 <sup>a</sup>	Aplicação – estática e polias
	8 <sup>a</sup>	Aplicação – plano inclinado
Colisões	9 <sup>a</sup>	Conservação do momento e momento relativo ao centro de massa.
	10 <sup>a</sup>	Colisões Elásticas, Inelásticas e Bidimensionais.
Sistema de Partículas	11 <sup>a</sup>	Relação entre força e momento; centro de massa.
	12 <sup>a</sup>	Momento relativo ao centro de massa e velocidade relativa.
Trabalho e Energia Cinética	13 <sup>a</sup>	Relações entre proposições, aparecendo o conceito de trabalho e potência; Teorema do Trabalho-Energia Cinética.
Energia Potencial	14 <sup>a</sup>	Conceito de força: gravitacional e elástica; força conservativa; relação entre a força e energia potencial.
Conservação da Energia	15 <sup>a</sup>	Plano inclinado, molas, atrito, variação de todas as formas de energias.

Quanto ao tempo de duração das atividades, as aulas são ministradas no segundo horário noturno a partir das 20:30 h com uma duração de 90 minutos para a parte teórica e exercícios. Os 30 minutos seguintes são empregados na entrega do resumo do entendimento do aluno sobre a aula e na discussão sobre as dúvidas ainda existentes. Como apoio metodológico e imprescindível para o aprendizado do aluno são as horas reservadas fora do horário de aula. Dependendo da disponibilidade do professor poderá ser 1 hora para cada hora em sala de aula. Identificamos as dúvidas comuns a um grupo de alunos e solicitamos que os mesmos se reunissem para comparecerem juntos à aula extra no ambiente de professores ou em um setor com disponibilidades de computadores. Aqui,

surtem as grandes oportunidades de identificação do envolvimento do aluno com a disciplina. A utilização das animações interativas neste instante não deve ser esquecida. Aproveitamos este momento para o desenvolvimento de uma entrevista e solicitamos que os alunos desenvolvam uma animação interativa sobre a discussão. Assim, o processo de negociação de significados é estabelecido.

Quanto à didática em sala de aula e o apoio computacional apresenta-se algumas variantes. Não há problema se algumas, várias ou todas as aulas forem desenvolvidas sem o uso do computador, principalmente se a aula seguir a orientação de aprendizagem por recepção. Para a aprendizagem por descoberta e principalmente nas aulas com aplicações que envolvam um grande desequilíbrio cognitivo, sem o uso do computador, os alunos são submetidos a um nível formal de dificuldades de difícil convívio, visto que o seu conhecimento é limitado a informações truncadas sobre os fenômenos físicos. Como exemplo, tomemos o caso aparentemente fácil de um pêndulo simples. Podemos pedir aos alunos para responderem a duas perguntas: (i) A velocidade, a aceleração e a força restauradora na posição de amplitude são nulas? (ii) Após escreverem a segunda lei de Newton para o corpo, em que posição a aceleração ou a força restauradora é máxima? Aqui acontece um intenso conflito cognitivo. A resposta automática é que a velocidade e a aceleração ou a força são nulas na posição de amplitude, e após isolar-se o corpo e escreverem a segunda lei de Newton, percebem que a aceleração e a força dependem do ângulo que a corda faz com a vertical. Em que acreditar: no seu conhecimento significativo já estabelecido ou na relação matemática que conecta a aceleração e a força com o ângulo? A primeira dúvida é imaginar que se está escrevendo de modo incorreto a segunda lei de Newton e em seguida acreditar que a posição de referência para o ângulo não seja na vertical.

Outros exemplos são capazes de criar a mesma situação: uma espécie de “pânico”. Um deles é solicitar que apresentem quais são as forças que estão agindo e quais são as forças constantes e as variáveis. Uma sugestão para um possível teste conceitual sobre estas questões é apresentada na Tabela 4.2. Este teste apresenta também questionamentos sobre Movimento Harmônico Simples, sua caracterização, entendimento sobre frequência, período e deslocamento angular. Os resultados obtidos a partir da aplicação deste teste aos alunos da disciplina Física Geral I (CD256B) na UFC no período 2004.1, com as notas por questões, médias, desvio padrão e coeficiente de variação (C. V.) por turmas são apresentados na Tabela 4.3. Os alunos da UFC obtiveram neste teste um aproveitamento de 9,33 pontos, com uma leve diminuição desta média nas questões relativas a aceleração e a tração do fio. Vemos que apesar do excelente resultado, alguns alunos ainda tendem a



pensar em alguns instantes de uma forma pré-newtoniana, como pode ser visualizada nas questões relativas a aceleração.

**Tabela 4.2.** Teste conceitual para a verificação do conhecimento prévio dos alunos e possível influência do organizador prévio sobre movimento harmônico simples.

Número	Questões
01	O que caracteriza um movimento harmônico simples?
02	O que significa amplitude de oscilação?
03	O que significa frequência de oscilação?
04	Em um pêndulo simples, quais são as forças constantes e quais as forças variáveis?
05	Em que posição do pêndulo simples as forças variáveis têm valor máximo?
06	Em que posição do pêndulo simples as forças variáveis têm valor mínimo?
07	Em que posição do pêndulo simples o deslocamento angular tem valor máximo?
08	Em que posição do pêndulo simples o deslocamento angular tem valor mínimo?
09	Em que posição do pêndulo simples a velocidade tem valor máximo?
10	Em que posição do pêndulo simples a velocidade tem valor mínimo?
11	Em que posição do pêndulo simples a aceleração tem valor máximo?
12	Em que posição do pêndulo simples a aceleração tem valor mínimo?

Na literatura são registrados dificuldades comuns a todos os alunos nas questões 1, 2 e 3., e também apesar de apresentarem subsunçores sobre forças e velocidade no pêndulo simples, questões 4, 5, 6, 9 e 10, obtém as menores notas nas questões relacionadas à aceleração, 11 e 12, respondendo que os valores máximos e mínimos de velocidade e aceleração ocorrem na mesma posição. Isto nos reporta a discussão da proporcionalidade entre força resultante e velocidade, como uma concepção errônea desenvolvida e mantida pela maioria dos alunos.

**Tabela 4.3.** Médias decimais dos alunos de Física Geral I da UFC no período 2004.1 (G2004.1) para o teste conceitual sobre Movimento Harmônico Simples.

Questões	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>	12 <sup>a</sup>	Média	DP	CV (%)
Notas	9,14	9,43	10,0	9,71	8,86	8,86	9,14	9,14	9,71	9,71	9,14	9,14	9,33	0,36	3,82
DP	2,84	2,36	0,00	1,69	3,23	3,23	2,84	2,84	1,69	1,69	2,84	2,84	0,36		
CV (%)	31,1	25,0	0,00	17,4	36,4	36,4	31,1	31,1	17,4	17,4	31,1	31,1	3,82		

Devemos fazer aqui um parêntese. Os alunos da UFC foram submetidos a um ensino baseado na aprendizagem significativa. O objetivo foi identificar o nível de retenção do conhecimento e a redução dos significados obliterados como parte da

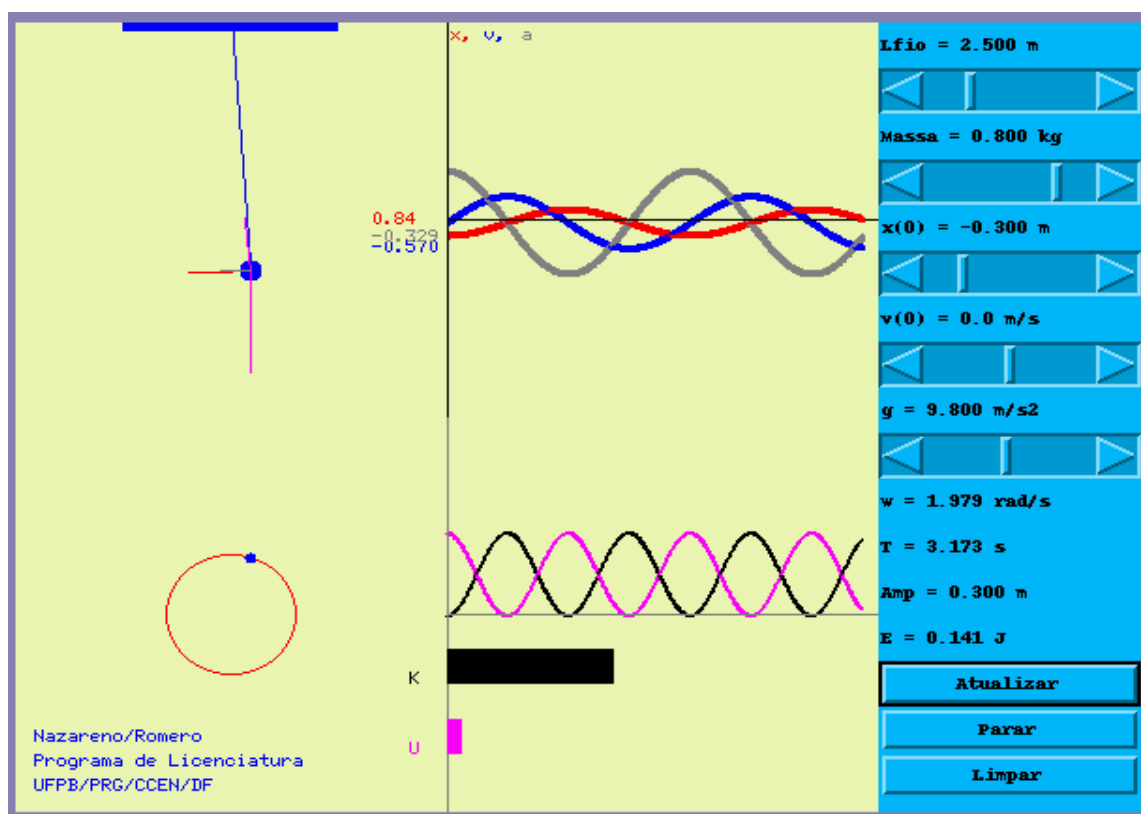
metodologia. É evidente que estas informações, como todas as outras resultantes de inúmeras pesquisas são empregadas para ensinar adequadamente e faz parte da metodologia. Por exemplo, se evidencia uma grande dificuldade dos alunos: confundir a força restauradora no pêndulo como se fosse uma terceira força juntamente com a tração do fio (variável) e o próprio peso (constante) ao invés de vê-la como componente do peso da direção do movimento. Juntamente com a proporcionalidade entre  $\mathbf{F}$  e  $\mathbf{v}$ , outro erro cometido foi a colocação da força variável como sendo máxima no extremo da trajetória (amplitude). Neste caso, a força variável seria a tração cujo valor máximo é igual ao peso e ocorre na origem do movimento.

Os alunos também têm a disposição um material didático virtual que segue a mesma distribuição do livro-texto. O diferencial é que a dinâmica das informações nas páginas em html ou php, permite a elucidação das dúvidas de forma mais direta. As animações interativas e os gifs animados estão adequadamente arranjados e estrategicamente localizados. Estes elementos dinâmicos aparecem nas posições em que a dificuldade do aluno foi identificada em várias pesquisas realizadas ou no convívio escolar. Este esforço metodológico facilita a apresentação do conteúdo, pois é solicitado ao aluno que acesse a home page antes das aulas serem ministradas e ao final da aula pede-se ao mesmo um resumo com o entendimento do assunto. Uma opção é distribuir com os alunos o material educativo referente a próxima atividade a ser apresentada.

A antecipação deliberada destes resultados tem um propósito justificável: a metodologia deve ser exploratória e revolucionária. Devemos investigar as razões pelas quais os alunos apresentam tais idéias e não apenas possibilitá-los o entendimento de uma nova concepção, o que já é louvável e significativo. Estes dados estão de acordo com os resultados de várias pesquisas realizadas, já citadas nesta dissertação. No entanto, geralmente análises estatísticas são desenvolvidas e conclusões do tipo “verificamos que os alunos sustentam concepções pré-newtonianas” são apontadas. As pesquisas dificilmente discutem os motivos pelos quais os alunos apresentam tais concepções alternativas.

A empatia e o processo de observação como suporte metodológico nos direciona para a aplicação de uma metodologia de antecipação, capaz de surpreender o aluno, despertando e aguçando a sua curiosidade. No exemplo do pêndulo simples representado na Fig. 4.1 como um applet de JAVA, o aluno sabe que para levá-lo até a posição de amplitude é necessária uma força externa. Nesta posição, quando o corpo pára, existe a presença de três forças: peso  $\mathbf{P}$ , tração  $\mathbf{T}$  e a força externa  $\mathbf{F}^{\text{ext}}$ , em equilíbrio. Ao ser indagado sobre as grandezas força,

aceleração e velocidade nesta posição, o aluno prontamente responde: a força resultante (para o aluno apenas força) é nula e pela segunda lei de Newton, concluímos que a aceleração é nula. Quanto a velocidade, esta é nula, pois o corpo está parado. No momento em que a força externa deixa de atuar, as forças **P** e **T** não mais estão em equilíbrio, daí surge a força restauradora. Por outro lado, o aluno que apenas conhece a aceleração constante, observa a presença desta grandeza com dependência do ângulo. Ainda mais, está habituado com mudanças de velocidade na presença de aceleração. E se fomos mais enfáticos, desconhecem as inversões de sentido das grandezas, ou descontinuidades como aparecem nas expressões do pêndulo,  $\frac{g}{l} = -\frac{a}{x}$  ou  $a = -\omega^2 x$ , que relacionam as grandezas intrínsecas ao pêndulo simples, o comprimento do fio e a aceleração da gravidade local, com as grandezas físicas que dão as equações de movimento.



**Figura. 4.1.** Animação interativa applet de Java para o pêndulo simples

Esta última discussão tem o intuito de apresentar a metodologia com uma sistematização detalhista, pormenorizada e gradativa. Este é um ponto chave na metodologia. Ao construtivismo é feita uma crítica porque só devemos passar para um novo assunto quando o anterior estiver totalmente entendido. Com isto, despreza-se o conteúdo como um

todo em favor do que chamamos “menos e melhor”. Na abordagem metodológica global começamos por envolver o aluno em questões muito abrangentes de modo que as idéias diferenciadas são apresentadas dentro do contexto de ensino. Para este desejo se concretizar não podemos nos deter no ensino da Cinemática, esta parte da Mecânica é distribuída no decorrer do período letivo. Isto nos possibilita a análise de todo o conteúdo, conceitualmente e matematicamente, e desse modo, a crítica não tem base para sustentação.

Todo o conteúdo programático a ser abordado é dividido em três estágios. O primeiro é o nível de entendimento do aluno sobre o assunto. O segundo é o nível acadêmico ou o objetivo da disciplina dentro da zona de desenvolvimento proximal. O terceiro são os aprofundamentos das discussões que possam extrapolar os objetivos estabelecidos. Neste sentido, os recursos matemáticos mais elaborados, por exemplo, equações diferenciais ordinárias para a resolução de problemas envolvendo oscilador harmônico podem ser discutidas. Nas aulas são apresentadas as ferramentas matemáticas pertinentes, fazendo sempre o paralelo entre o conhecimento prévio do aluno: dados do senso comum, informações obtidas no ensino médio e seu breve histórico na graduação. Em uma mesma aula, caso seja necessário fazer o cálculo de áreas, resolvemos pelo uso de áreas de figuras conhecidas e também com o uso de cálculo integral.

Não vemos a Física Geral I como um conjunto de dez capítulos, e sim como a porta de entrada para um mundo de novidades. O aluno deve ser preparado para analisar criticamente os novos conhecimentos. Os conceitos mais inclusivos das várias áreas da Física devem ser abordados neste estágio inicial. O aluno de Física Geral I é originário de uma escola mercadológica orientada a vestibular; desprovido de capacidade reflexiva e acredita que a Física é a substituição numérica de dados em fórmulas. Até os mais capazes, o são quanto à resolução de exercícios, mas apresentam certas deficiências conceituais ou proposicionais. Nesta fase, aproveitamos o processo de ensino-aprendizagem para, pelo menos, reduzir estas falhas.

A divisão da turma em grupos de três alunos é uma boa estratégia. Procuramos identificar grupos semelhantes para não ficarem grupos com alunos mais conceituados e grupos com alunos com grandes deficiências. Deixamos que estes alunos fossem os aliados no processo de aprendizagem na linha de pensamento sócio-interacionista de Vygotsky. Deste convívio resultou a grande maioria das atividades desenvolvidas: trabalhos, listas, pré-testes, exercícios escolares, discussões conceituais, animações interativas, etc. Estas atividades, em sua forma qualitativa, são detalhadas na seção seguinte.

### **4.3. Análise dos dados qualitativos**

As subseções seguintes apresentam as várias atividades desenvolvidas durante o período de aplicação da metodologia e também, as várias formas de avaliação dos alunos e do próprio processo de ensino-aprendizagem. Explicitamos as questões envolvidas nas atividades e os objetivos a serem alcançados a partir da elaboração de tais exercícios ou problemas. As informações discutidas na seqüência fazem parte do livro didático.

#### **4.3.1. Identificação do conhecimento prévio e evolução conceitual**

Na primeira semana de aula, são apresentados os conceitos mais inclusivos como conservação e forças, dentro de uma perspectiva da mecânica relativística e newtoniana. Neste período, procuramos saber dos alunos o seu entendimento sobre os temas, através de discussões em sala de aula além de testes conceituais. Um teste formal empregado foi solicitar aos alunos que colocassem em papel o seu entendimento sobre as leis de Newton e respondessem as perguntas colocadas, como apresentada no Anexo 1.

Inicialmente, os alunos apresentaram desconhecimento sobre grandezas vetoriais, por exemplo, ao caracterizarem velocidade no lançamento de projétil, enquanto os questionamentos referentes as leis de Newton, mostraram em um primeiro momento, a presença de desconhecimento sobre referenciais inerciais, falta de informação sobre a formulação da segunda lei em termos da variação do momento linear e dificuldades na identificação do par ação-reação relacionando-se a terceira lei. Em relação a força, observou-se uma confusão entre força resultante nula e a ausência de forças para a determinação da conservação do momento linear. Outras limitações são sistemas de referência e balanço de energia nos osciladores harmônicos com e sem a presença de atrito.

A interpretação gráfica e a obtenção de equações a partir dos mesmos também se mostraram como uma forma de limitação. Apesar do estudo do cálculo diferencial e integral e de toda a base matemática, o aluno não consegue externar estes conhecimentos aplicando-os as formulações físicas. As aplicações de integrais e derivadas que relacionam a grandeza aceleração em termos da segunda lei de Newton para a obtenção da posição da grandeza, escrevendo uma equação diferencial ou mesmo resolvendo uma integral por vez, com o aparecimento das condições iniciais é completamente desconhecido.

À medida que o curso prosseguia, com as idas e vindas às idéias mais inclusivas, estabelecia-se o contato direto com estas dúvidas, retornando sempre ao problema crucial da

dificuldade inicial, na tentativa de suprir as lacunas deixadas pelo ensino médio e também do superior. Para tanto, as animações interativas em Modellus foram amplamente empregadas, totalizando 180 a partir dos 470 exercícios resolvidos dos 681 propostos. O ambiente Modellus, através de sua janela Modelo, permite que um tratamento matemático rebuscado seja desenvolvido, usando-se facilmente os conceitos de derivadas e integrais, e a possibilidade de discutir as equações diferenciais. A janela Gráfico permite que todas as variáveis envolvidas possam ser expressas em função de cada uma delas, o que facilita a discussão da dependência funcional. Com este aparato, os alunos passaram a ter mais subsídios conceituais para a discussão verbal e escrita sobre os problemas levantados.

### **4.3.2. Atividades desenvolvidas**

A partir da apresentação dos conteúdos mais inclusivos e da abordagem vetorial tridimensional, procuramos usar a diferenciação progressiva para o estudo da cinemática com as discussões das causas dos movimentos sem aprofundamentos sobre referenciais inerciais, ação e reação. Na ausência do livro didático elaborado com uma vasta lista de exercícios procuramos empregar a lista de exercícios e questionários do livro Mecânica I do Halliday e Resnick, com a divisão da turma em grupos de três alunos. Deste módulo resultou o pré-teste I e o pós-teste I ou primeira avaliação escolar com pesos iguais, atividade apresentada no Anexo 2. Nas discussões sobre vetores aproveitamos para avaliar o entendimento sobre proporcionalidade e sobre variação das grandezas envolvidas. Neste caso, procuramos identificar o entendimento sobre inclinações de retas, concavidades, equações e gráficos. Não usamos testes padronizados, pois procuramos empregar aqueles que não são do conhecimento dos alunos, próprio das novas formas de avaliação como discutido por Ausubel.

Retornando ao conceito de conservação e forças em um segundo módulo, para o estudo do movimento relativo e referenciais inerciais, estudo dos vários tipos de forças, ação, reação e aplicação das leis de Newton. Neste módulo, interligamos os capítulos sobre leis de Newton e momento linear. Os respectivos exercícios do Halliday e Resnick foram solicitados como atividades individuais e em grupos, além do pré-teste II e do pós-teste II ou segunda atividade de avaliação vista no Anexo 3. Uma lista de exercícios literais foi empregada como avaliação, com resolução em sala de aula na presença do quadro-negro como mostra o Anexo 4.

O terceiro módulo dedicado a energia, inicia-se com as relações entre as grandezas força e momento linear. Neste módulo foram solicitados exercícios sobre as formas de energia,

o princípio de conservação da energia e a presença de forças não-conservativas. Neste módulo em especial procurou-se enfatizar a existência de osciladores harmônicos como o pêndulo simples e o sistema massa-mola. A avaliação foi amplificada pelo uso das animações interativas. Neste módulo em especial, as aulas eram direcionadas para as resoluções de problemas com ênfase nas animações interativas como é visualizado no Anexo 5.

Na última semana de aula empregada para a avaliação do curso, da metodologia, do professor e dos alunos, fizemos uma série de discussões e perguntas sobre os assuntos abordados. Uma pergunta é a seguinte: A segunda lei de Newton nos diz que existe uma proporcionalidade entre força e aceleração. A que força Newton se refere, visto que as forças são proporcionais a velocidade no caso de arrasto, a aceleração da gravidade no caso do peso e a posição da mola em relação a uma referência? Ao final do período foi elaborado um teste conceitual com questões referentes a forças, energia e momento. Os problemas são geradores de confusão nas interpretações pelos alunos e pode ser visto no Anexo 6.

### **4.3.3. Avaliação do questionário**

Um questionário contendo dez questões como mostrado na Tabela 4.4 procurou avaliar as características do curso, da aprendizagem, da metodologia, do professor e das animações interativas. As respostas são divididas em quatro níveis: Ótimo (O), Bom (B), Ruim (R) e Inadequado (I). Deste questionário participaram 69 alunos que estiveram presentes as atividades semestrais. Além das respostas objetivas, foi sugerido que explicações opcionais poderiam acompanhar a folha resposta. As informações tanto objetivas quanto subjetivas são anônimas para permitir total liberdade ao aluno em expressar sua verdadeira opinião.

A Tabela 4.5 apresenta o resultado do questionário. A maioria das respostas está enquadrada na situação de ótimo ou bom, ocorrendo uma maior distribuição de opiniões quando o assunto é relacionado com a formação de grupos. De acordo com a opinião dos alunos, estes índices foram obtidos devido ao emprego de uma metodologia inovadora. Alguns pontos podem ser citados: (i) a abordagem de temas gerais é aberta ao aluno com a discussão dos conceitos mais inclusivos do material educativo do currículo; (ii) a ênfase de tópicos; onde a Física é apresentada como uma coleção de conceitos com uma ponte com o ensino médio e não se resume a fórmulas; (iii) a Física é apresentada também no sentido social, motivo de desmistificação da disciplina; (iv) a introdução da tecnologia como ferramenta de auxílio, através de um mecanismo computacional versátil e didático, o

Modellus; (v) em termos de didática, ocorreu uma transformação, com a introdução de elementos no processo educativo, além do professor, quadro-negro e giz.

**Tabela 4.4** Questionário de avaliação das características do curso, da aprendizagem, da metodologia, do professor e das animações interativas.

- 
- |     |  |                          |   |                          |   |                          |   |                          |   |
|-----|--|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|
| 1.  | A avaliação da aprendizagem de modo distribuído em trabalhos, exercícios, testes, animações interativas, discussões em sala de aula, quadro-negro, entre outras, é considerada   | <input type="checkbox"/> | O | <input type="checkbox"/> | B | <input type="checkbox"/> | R | <input type="checkbox"/> | I |
| 2.  | A alteração da seqüência lógica do livro didático, com as discussões das idéias mais inclusivas em um primeiro momento constitui-se em uma característica                        | <input type="checkbox"/> | O | <input type="checkbox"/> | B | <input type="checkbox"/> | R | <input type="checkbox"/> | I |
| 3.  | A identificação prévia do conhecimento na primeira semana com a apresentação das limitações conceituais e matemática dos alunos, para o aumento do aprendizado se apresenta como | <input type="checkbox"/> | O | <input type="checkbox"/> | B | <input type="checkbox"/> | R | <input type="checkbox"/> | I |
| 4.  | A formação de grupos de estudo é uma proposta  | <input type="checkbox"/> | O | <input type="checkbox"/> | B | <input type="checkbox"/> | R | <input type="checkbox"/> | I |
| 5.  | A ajuda na interpretação das idéias contidas nos livros didáticos é conseguida pela abordagem conceitual desenvolvida de modo  | <input type="checkbox"/> | O | <input type="checkbox"/> | B | <input type="checkbox"/> | R | <input type="checkbox"/> | I |
| 6.  | A abordagem de ensino-aprendizagem apresentando a relação conceitual e relações matemáticas sempre como uma ponte com o ensino médio e com o senso comum é                       | <input type="checkbox"/> | O | <input type="checkbox"/> | B | <input type="checkbox"/> | R | <input type="checkbox"/> | I |
| 7.  | A forma de aprendizagem por recepção, ou seja, apresentar a teoria na forma acabada, é uma maneira de ensino   | <input type="checkbox"/> | O | <input type="checkbox"/> | B | <input type="checkbox"/> | R | <input type="checkbox"/> | I |
| 8.  | A correção e devolução individual de cada uma das atividades configuram-se em uma prática  | <input type="checkbox"/> | O | <input type="checkbox"/> | B | <input type="checkbox"/> | R | <input type="checkbox"/> | I |
| 9.  | A produção das animações interativas em Modellus é aceita como uma forma de avaliação  | <input type="checkbox"/> | O | <input type="checkbox"/> | B | <input type="checkbox"/> | R | <input type="checkbox"/> | I |
| 10. | O nível de influência da animação interativa para o aprendizado é entendido como   | <input type="checkbox"/> | O | <input type="checkbox"/> | B | <input type="checkbox"/> | R | <input type="checkbox"/> | I |
-



As opiniões sobre as questões estão colocadas na seqüência. Questão 1: os alunos acreditam que a diversificação de atividades é necessária, facilitando o aprendizado e a avaliação, pois o professor pode explorar mais profundamente todo o conteúdo, através destes exercícios. Em se tratando da nova seqüência lógica, questão 2, a apresentação dos fundamentos em um primeiro momento, cria uma expectativa, fixando o aluno na sala de aula. Para a questão 3, os alunos acreditam que conhecer suas limitações é determinante no aprendizado, pois poderão estudar de forma correta, enquanto o professor poderá preparar as aulas com base nestas deficiências. A formação de grupos, questão 4, é importante e deve ser mantida, no entanto, para os alunos noturnos que trabalham, estes encontros não são muito efetivos, restritos a algumas horas à noite e nos fins de semana. Nas questões 5, 6, 7 e 8, com ênfase na abordagem conceitual, a ponte com ensino médio, a apresentação do conteúdo por recepção e a correção-devolução por escrito das atividades, segundo os alunos, permite confrontar a opinião do professor com as idéias desenvolvidas e mantidas por eles, modificando o seu conhecimento. Os alunos acreditam que para produzir uma animação interativa, questão 9, é necessário que o mesmo tenha que aprofundar o conhecimento sobre o assunto, e como estão na presença do professor, ainda é preciso verbalizar e se expressar matematicamente. Alguns alunos têm o receio de expor a sua opinião sobre o assunto porque a mesma pode estar errada. Como vemos, na questão 10, os alunos acreditam no potencial educacional da animação interativa.

**Tabela 4.5** Resultado do questionário de avaliação das características do curso, da aprendizagem, da metodologia, do professor e das animações interativas.

Questões	Ótimo	Bom	Ruim	Inadequado
1.	65	4	0	0
2.	52	15	1	1
3.	50	12	5	2
4.	20	32	17	0
5.	60	9	0	0
6.	69	0	0	0
7.	61	8	0	0
8.	63	6	0	0
9.	50	14	0	5
10.	68	0	0	1

## **4.4. Análise dos dados quantitativos sobre Física Geral I na UFC**

### **4.4.1. Considerações gerais**

Sabemos das limitações para o ensino-aprendizagem de Física, inclusive com o levantamento de vários pontos discutidos nesta dissertação. No entanto, ficamos em suspense quanto a uma questão: Qual é o tamanho deste problema? Ou haverá um número que caracterize tal realidade? A resposta é afirmativa se pudermos catalogar o número de alunos matriculados em Física Geral I, o número de reprovados por notas, reprovados por faltas e certamente os aprovados. Destes dados tiramos uma média geral e um provável conceito para verificação e discussão. Para tanto, não vamos considerar nestes cálculos os alunos reprovados com 100% das faltas em uma determinada disciplina. Estamos considerando que estes alunos estão completamente ausentes do processo ensino-aprendizagem e por isso não podem ser avaliados dentro do contexto desta dissertação para o cálculo da média. Estes dados estão incluídos na análise em termos percentuais de reprovações, apresentando-o como um problema adicional em que a instituição deverá avaliar seriamente. É evidente que a instituição mantém um Índice de Rendimento do Aluno (IRA), em que as faltas e trancamentos de disciplinas, são fatores fortemente redutores do valor deste índice que tem um limite de 10000 pontos.

A partir da Síntese de Rendimento Geral (SRG) do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC) pesquisamos e analisamos os dados de 3908 alunos referentes aos períodos letivos de 2000.1, 2000.2, 2001.1, 2001.2, 2002.1, 2002.2, 2003.1, 2003.2, 2004.1 e 2004.2 correspondentes aos anos de 2000 a 2004. Os dados contidos no SRG são compostos pelos seguintes itens: número de matrícula, curso, ano, período de ingresso na universidade, frequência, média final e situação final de cada um dos alunos. As disciplinas avaliadas, todas do sistema de créditos semestrais, são: CD201 (Física Geral I), CD256 (Física Geral I), CD257 (Física Aplicada a Geologia I) e CD311 (Mecânica I).

Nas tabelas seguintes, não iremos discriminar os dados gerais por semestres letivos ou por sistema anualizado. No sistema anualizado, os assuntos referentes ao conteúdo de Física Geral I são ministrados no primeiro semestre. No segundo semestre de cada ano os alunos estudam os assuntos referentes a Física Geral II. Como os dados semestrais destes alunos não estão disponíveis, para a comparação com os alunos do

sistema de créditos semestral, optamos por não incluí-los nesta análise. As disciplinas CD201, CD256, CD257 e CD311 apresentam ementas padrões com variações apenas na ênfase dada em sala de aula para alguns assuntos específicos ou possibilidades de aprofundamento do conteúdo. Na realidade encontramos alunos de alguns cursos de determinado código matriculados em códigos diferentes sem nenhum problema de continuidade na instituição para tal estudante.

#### **4.4.2. Dados quantitativos gerais para Física Geral I**

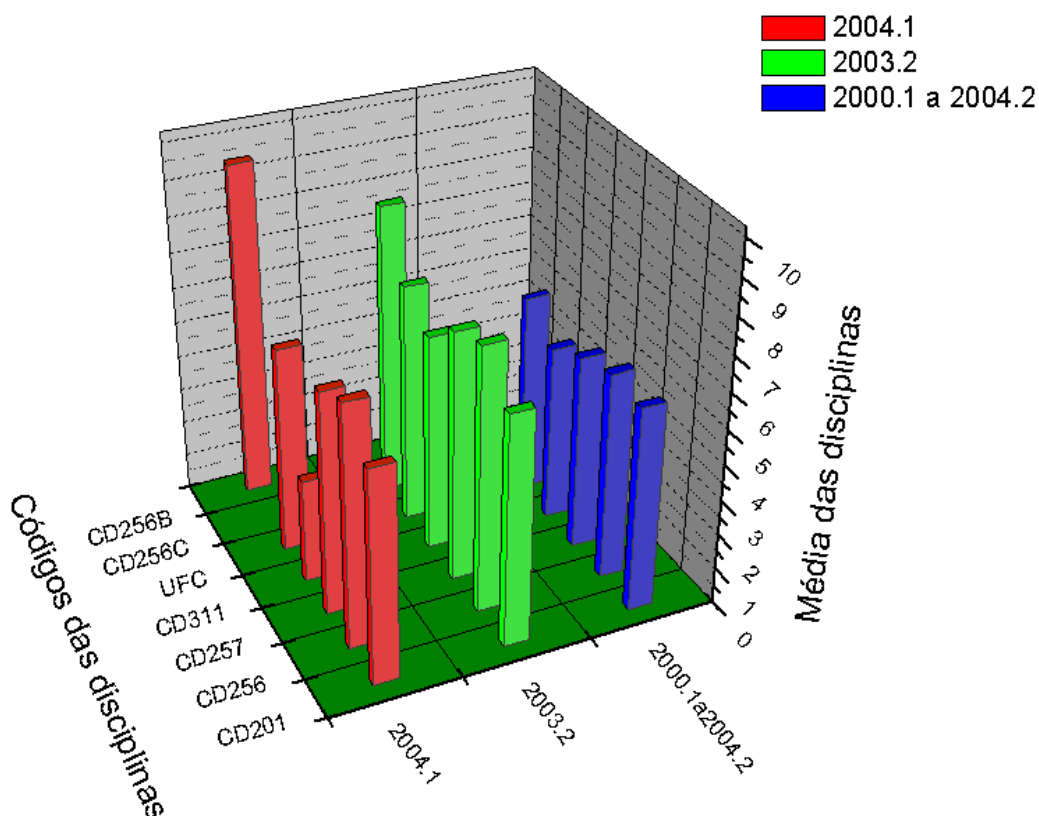
Os dados gerais para Física Geral I da UFC, da disciplina CD256 e das turmas CD256C e CD256B para os semestres letivos dos anos de 2000 a 2004 estão agrupados na Tabela 4.6. Foram matriculados neste período, 3908 alunos em 93 turmas, das quais 26 são da disciplina CD256 com um total de 931 estudantes. As turmas, CD256C e CD256B com um total de 89 alunos são as turmas participantes da aprendizagem significativa. As médias por alunos da instituição é igual a 5,71 pontos com um desvio padrão de 2,73, o que equivale a um coeficiente de variação de 47,9%. A disciplina CD256 apresenta um coeficiente de variação de 49,4% para uma média de valor 5,88 e com um desvio padrão de 2,91 pontos. Dados completamente diferentes e muito significativos são: média de 8,94 pontos, desvio padrão de 0,90 e coeficiente de variação de 10,0% para as turmas experimentais. G2003.2 e G2004.1 combinadas. As turmas experimentais individualmente apresentam coeficiente de variação de valor muito reduzido, sugerindo variações em torno da média com valores inferiores a 1,00 ponto, respectivamente 0,78 pontos para G2003.2 e 0,60 para G2004.1. O primeiro resultado nos diz que a variação de aproximadamente 50,0% em torno da média para a UFC e CD256 indica a presença de alunos com conhecimento médio muito diferentes, enquanto nas turmas experimentais, a homogeneidade é verificada.

Um segundo resultado relaciona-se com os índices de reprovação em Física Geral I. Na instituição, dos 3908 alunos matriculados, 1682 foram reprovados, totalizando 43,0%. Na disciplina CD256 este percentual é igual a 46,7%, ou seja, 435 alunos entre os 931 matriculados. Tanto na instituição UFC quanto na disciplina CD256, observamos os índices de reprovação com 100% de faltas, superar as reprovações por notas e por faltas acima do limite de 25,0% somadas. Em termos de aprendizagem significativa, verificamos uma reprovação geral da ordem de 22,5%, sem as reprovações por notas ou por apenas faltas. Todos os alunos reprovados estavam na relação dos faltosos com presença nula.

**Tabela 4.6.** Dados gerais sobre os alunos de Física Geral I entre os anos de 2000 a 2004 na UFC em comparação com os dados da aprendizagem significativa.

Dados gerais	UFC	CD256	CD256C	CD256B	CD256C + CD256B
Número de alunos matriculados	3908	931	42	47	89
Número de turmas	93	26	1	1	2
Média de alunos matriculados por turma	42,0	35,8	42,0	47,0	44,5
Média das notas por turma	5,84	5,88	8,36	9,51	8,94
Desvio padrão das médias das notas por turma	1,88	2,03	0,00	0,00	0,90
Coefficiente de variação das médias das notas por turma (%)	32,2	34,5	0,00	0,00	10,0
Média das notas por alunos	5,71	5,88	8,36	9,51	8,94
Desvio padrão das médias das notas por alunos	2,73	2,91	0,78	0,60	0,90
Coefficiente de variação (%) das médias das notas por alunos	47,9	49,4	9,30	6,31	10,0
Número de alunos reprovados	1682	435	8	12	20
Alunos reprovados (%)	43,0	46,7	19,1	25,5	22,5
Número médio de alunos reprovados por turma	18,1	16,7	8,00	12,0	10,0
Número de alunos reprovados com 90 faltas	901	245	8	12	20
Porcentagem de alunos reprovados com 90 faltas (%)	22,8	26,3	19,1	25,5	22,5
Número médio de alunos reprovados com 90 faltas por turma	9,79	9,42	8,00	12,0	10,0
Número de alunos reprovados por nota	548	136	0	0	0
Alunos reprovados por nota (%)	14,0	14,6	0,00	0,00	0,00
Número médio de alunos reprovados por nota por turma	5,89	5,23	0,00	0,00	0,00
Número de alunos reprovados por faltas	232	54	0	0	0
Alunos reprovados por faltas (%)	5,94	5,80	0,00	0,00	0,00
Número médio de alunos reprovados por faltas por turma	2,94	5,80	0,00	0,00	0,00

Em termos das disciplinas CD201, CD256, CD257 e CD311 podemos acompanhar pela Fig. 4.2 as médias gerais obtidas. A figura apresenta um exemplo destas discussões para os semestres no intervalo de 2000.1 a 2004.2 para esta instituição e para a disciplina CD256, referente ao ensino de Física Geral I e compara com os valores médios das notas dos alunos para as disciplinas CD201, CD257 e CD311. Os dados para as turmas da aprendizagem significativa, CD256C e CD256B também são apresentados.



**Figura 4.2.** Gráfico comparativo das médias das notas por turmas correspondentes aos semestres: 2000.1 a 2003.1; 2003.2, 2004.1 e 2004.2. Os dados são por código de disciplinas, turmas da disciplina CD256 e da UFC.

As disciplinas CD201, CD257 e CD311 apresentaram médias iguais a 5,68; 5,58 e 5,57 com desvio padrão de 2,68; 2,17 e 3,26 pontos no período compreendido entre 2000.1 a 2003.1. Para estes valores os coeficientes de variação são: 47,2%; 38,9% e 58,6%. A menor média entre as disciplinas ocorreu justamente com a disciplina CD256, 5,41 e a maior média foi obtida pela disciplina CD201. A disciplina com a menor heterogeneidade entre as médias dos alunos foi a CD257. Com as recuperações das médias da disciplina CD256 nos semestres 2003.2 e 2004.1, obtemos os respectivos valores: 5,78; 5,88; 5,53 e 5,02 para as médias das disciplinas CD201, CD256, CD257 e CD311 no período de 2000 a 2004.

#### 4.4.3. Dados quantitativos para as turmas CD256C e CD256B

Cabe uma análise mais detalhada da própria turma CD256C. Sendo a primeira turma avaliada, optamos por dividi-la inicialmente em dois grupos, G2003.2a e G2003.2b com 17 alunos cada uma para a primeira fase de testes com o intuito de verificarmos a influência da metodologia sobre os alunos. Em um segundo momento, todos os alunos passaram a ter a mesma metodologia e os denominamos de G2003.2c. A Tabela 4.7 lista os resultados obtidos pelos alunos em cada uma das fases de avaliação do semestre 2003.2. Como não foi possível utilizarmos outras turmas para a comparação, empregando a metodologia em sala de aula, mas sem as animações interativas, optamos pela distribuição aleatória de alunos dentro da própria turma. Observamos o incremento nas médias dos alunos após cada fase de avaliação e a gradativa redução no desvio padrão das notas individuais, acentuando-se o potencial homogeneizador da metodologia. Apesar da pequena média do grupo de controle na primeira fase, verifica-se um bom aproveitamento nas fases seguintes, com uma participação significativa para a elevação da média total da turma, igual a 8,36 pontos.

**Tabela 4.7.** Média por fase de avaliação das turmas de controle G2003.2a e experimental G2003.2b da disciplina Física Geral I (CD256) da UFC.

Turmas	Grupo de Controle (G2003.2a)				Grupo Experimental (G2003.2b)				G2003.2c			
	Fases			Média	Fases			Média	Fases			Média
	1a	2a	3a		1a	2a	3a		1a	2a	3a	
Média	6,0	8,3	9,2	7,8	8,4	8,9	9,5	8,9	-	8,6	9,3	9,0
D.P.	1,6	0,6	0,4	0,6	0,8	0,6	0,4	0,5	-	0,6	0,4	0,5
C. V.(%)	27,6	6,8	4,6	8,0	9,6	6,2	4,5	6,1	-	7,2	4,8	5,4

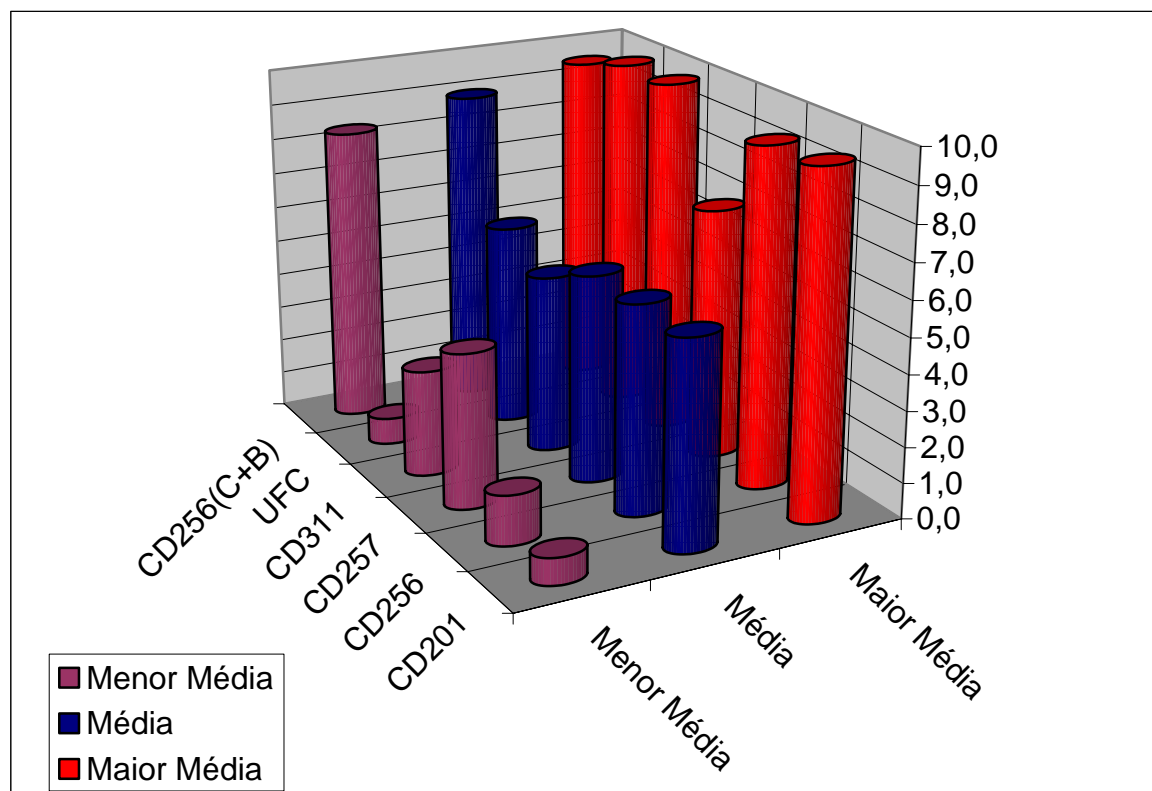
A avaliação desta tabela nos mostra a evolução do comportamento das turmas de controle G2003.2a e experimental G2003.2b no período 2003.2. Na primeira fase de avaliação a turma de controle que não teve acesso as animações interativas, apresentou uma média de 6,00 pontos com uma desvio padrão de 1,65 pontos. Nesta primeira fase, a turma experimental conseguiu uma média de 8,40 pontos com um desvio padrão de 0,8. Na segunda fase com todos os alunos sendo submetidos a mesma metodologia, um aumento da média dos dois grupos é percebido, 8,30 com um desvio padrão de 0,56

pontos para a turma de controle e 8,90 pontos com um desvio padrão de 0,56 para a turma experimental. Na terceira fase, a turma de controle conseguiu uma média de 9,16 pontos para um desvio padrão de 0,42, enquanto a turma experimental obteve 9,50 com um desvio padrão de 0,43 pontos.

À medida que a metodologia é aplicada, o aluno médio obtém médias cada vez maiores, aproximando-se muito da média da turma. Por este motivo, a dispersão é significativamente reduzida, com os valores para as três fases do grupo de controle: 27,6%; 6,8% e 4,6% respectivamente. Para o grupo experimental: 9,6%; 6,2% e 4,5% para as fases de avaliação. Observemos que o único resultado não satisfatório ocorreu exatamente na primeira fase com o grupo de controle. Uma possível explicação para este fato é que os estudantes não estão habituados a discussões conceituais, a resoluções literais de problemas e a questionamentos de sua própria realidade. E sem a ação da animação interativa que auxilia na redução do desequilíbrio cognitivo instaurado facilitando a exposição e o entendimento das idéias principais, os alunos não respondem adequadamente às atividades.

Com a experiência obtida no semestre 2003.2, criou-se um ambiente mais propício para a aplicação da metodologia. A identificação do conhecimento prévio dos alunos e a reação dos mesmos às atividades de avaliação no semestre anterior, serviram como referencial facilitador das discussões em sala de aula no semestre 2004.1. Aprofundamos os debates relacionando-os ao senso comum e ao ensino médio, além do empenho dos alunos na produção das animações interativas. As notas médias destes alunos evoluíram de 9,30 pontos no primeiro módulo para 9,48 pontos no segundo e 9,67 pontos no módulo final, com desvios padrão semelhantes e valores da ordem de 0,60 pontos.

A contribuição dos 89 alunos das duas turmas experimentais eleva a média por alunos de 5,50 para 5,71 pontos na UFC e de 5,53 para 5,88 pontos para a disciplina CD256. Os aumentos para as médias dos alunos em termos percentuais são de 3,80% para a UFC e de 6,33% para a disciplina CD256. Em relação aos índices de reprovação, os valores conseguidos são mais discretos para a UFC. Há uma redução de 43,5% para 43,1% na instituição e de 49,3% para 46,7% na disciplina CD256. Outra informação refere-se as maiores e menores médias ocorridas em termos de disciplinas. A Fig. 4.3 apresenta as maiores, a média e as menores notas (médias) obtidas nas disciplinas, na UFC e nas turmas da aprendizagem significativa. A variação entre estes índices pode superar até 7,00 pontos, no entanto, a média geral é considerada baixa. Na aprendizagem significativa, os escores maior, médio e menor são muito próximos, com diferenças da ordem de 0,5 pontos.



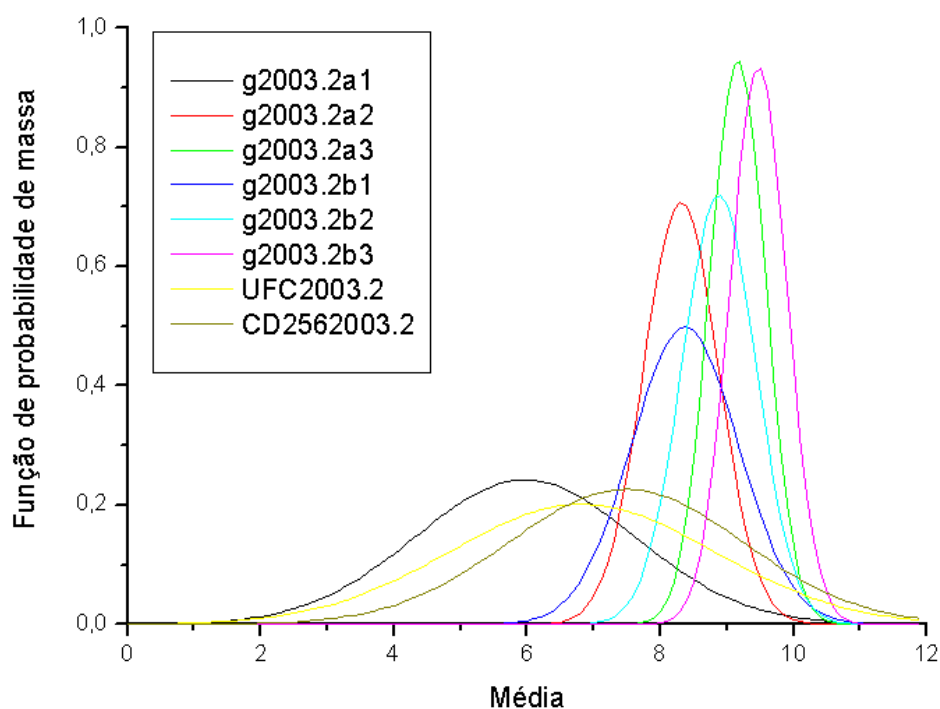
**Figura 4.3.** Gráfico comparativo das maiores, valores médios e menores médias das notas por disciplinas nos períodos de 2000.1 a 2004.2. Os dados são por código de disciplinas, turmas experimentais da disciplina CD256 e da UFC.

#### 4.4.7 Curvas de distribuição normais para as médias dos alunos na UFC

Com um nível de confiança de 99,0%, as médias dos alunos da UFC, da disciplina CD256 e das turmas experimentais G2003.2 e G2004.1 são calculadas usando-se t-Student. A média da UFC está dentro do intervalo de confiança em  $P(5,58 < \mu < 5,84) = 0,99$ . Desse modo usaremos as curvas de distribuição normais a partir do valor estimado para a média da população de alunos de Física Geral I, empregando uma amostra com 3007 alunos, indicando o comportamento das médias na UFC. Para o nosso estudo, a variável aleatória  $X$ , ou seja, a média dos alunos, segue uma t-Student com 3006 graus de liberdade e está sendo aproximada para uma distribuição normal com as seguintes características: média  $\mu = 5,71$  e desvio padrão  $\rho = 2,73$ . Assim,  $X \sim N(5,71; 7,45)$ . Encontraremos o intervalo de confiança para cada grupo amostral e estimaremos a média da população, conseqüentemente, traçaremos as curvas normais para a disciplina CD256 e para as turmas submetidas a nova metodologia CD256C (2003.2) CD256B (2004.1). As curvas normais para a UFC e para a disciplina CD256 incluem os dados referentes as turmas da aprendizagem significativa.

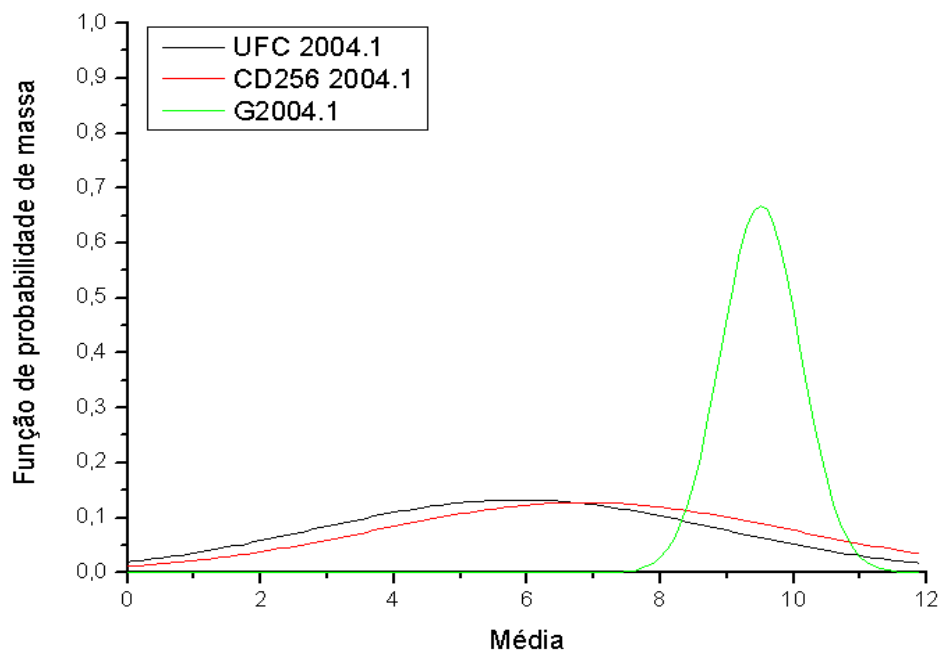


A Fig. 4.4 apresenta as curvas de distribuição normal da instituição, da disciplina CD256, e das turmas CD256C do semestre 2003.2. As curvas para a UFC e para a disciplina CD256 apresentam-se com médias superiores a curva para os alunos submetidos à forma de ensino tradicional na primeira fase, mas devido a influência das turmas experimentais. Para uma análise destas curvas sem a inclusão deste fato, as curvas assemelham-se completamente com média e desvio padrão para a UFC de valores iguais a 5,91 e 1,59 respectivamente. Estes dados para a turma G2003.2a1 são: 5,97 e 1,65 pontos. As curvas de distribuição normais para as outras fases mostram uma menor dispersão das médias individuais, com a homogeneização da turma. Isto indica que o aluno médio da turma aproxima-se do aluno considerado de melhor desempenho.

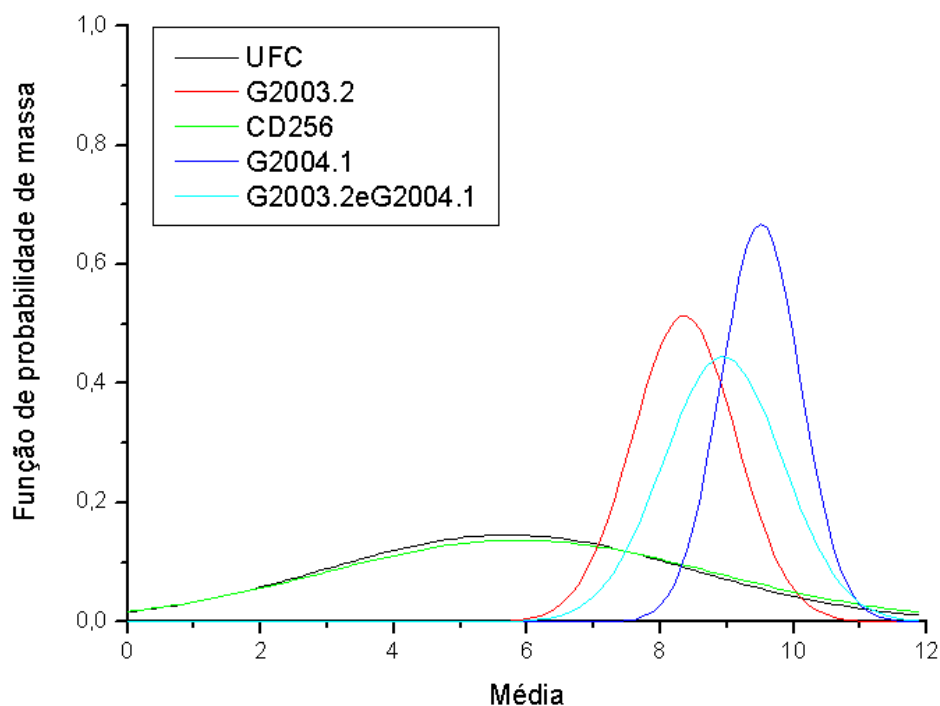


**Figura 4.4.** A função de probabilidade de massa em função da média dos alunos para a instituição UFC e para a disciplina CD256 no semestre 2003.2.

A Fig. 4.5 mostra a distribuição normal das notas dos alunos no período 2004.1. Observamos uma reduzida dispersão das notas dos alunos do grupo G2004.1 com um desvio padrão de 0,60 pontos e diferentemente da UFC e da disciplina CD256, apresentaram curvas de distribuição com grande dispersão, motivado pelo grande desvio padrão percebido, acima dos 3,00 pontos. A Fig. 4.6 mostra a distribuição normal das notas dos alunos nos 10 semestres avaliados para a UFC e para a disciplina CD256. Nesta figura encontram-se também as curvas de distribuição normais para as turmas experimentais dos períodos 2003.2 e 2004.1 e da média geral das turmas da aprendizagem significativa.



**Figura 4.5.** A função de probabilidade de massa em função da média dos alunos para a instituição UFC, para a disciplina CD256 e para a turma experimental G2004.1 no semestre 2004.1.



**Figura 4.6.** A função de probabilidade de massa em função da média dos alunos para a instituição, para a disciplina CD256 entre os anos de 2000 a 2004 e para as turmas avaliadas nos semestres 2003.2 (G2003.2) e 2004.1 (G2004.1) e para as turmas experimentais combinadas (G2003.2 e G2004.1).

Uma análise destas curvas mostra que em termos de UFC, com média igual a 5,71 e desvio padrão de 2,73, encontramos um máximo para a função de probabilidade de massa igual a 0,15 com uma largura de 7,75. Em termos da disciplina CD256, com média igual a 5,88 e desvio padrão de 2,91, o máximo para a função de probabilidade de massa é igual a 0,14 com uma largura de 8,26. Para as turmas experimentais estes valores são: 0,51 e 2,20, para a função probabilidade de massa e largura da curva normal para a turma CD256C; para a turma CD256B, encontramos 0,67 e 1,69, respectivamente.

A probabilidade para um aluno obter uma média acima de 7,00 pontos na UFC é de 32,3%. Com esta estimativa, 971 alunos estariam dentro do intervalo [7,00; 10,0]. A análise dos dados mostra que 1240 alunos foram aprovados com médias maiores e iguais a 7,00, dos quais 257 foram aprovados com média 7,00 exatamente. Para a aprendizagem significativa, a probabilidade de obtenção de uma média 7,00 foi de 98,5%, sendo estimado um número de 68 alunos. Todos os 69 alunos avaliados foram aprovados e apenas um aluno obteve média igual a 7,00 pontos. Para se atingir a média da aprendizagem significativa, 8,94, pontos, esta probabilidade na UFC é de 12,1%. Esta percentagem indica um número de alunos igual a 365. No entanto, 289 obtiveram uma média acima deste valor. Como a probabilidade de se obter esta média para o aluno da aprendizagem significativa é de 50,0%, ou 35 alunos, atingimos um índice de 42 alunos, ampliando o nível percentual para 60,1%. Estes alunos totalizam 14,9% de todos os alunos da UFC que obtiveram média igual ou superior a 8,94 pontos.

O aluno médio da aprendizagem significativa com nota média igual a 8,94 pontos supera 2718 alunos da UFC. Podemos dizer que um estudante médio da aprendizagem significativa é superior em média, a 89,9% dos alunos desta instituição. O cálculo de um percentual equivalente referindo-se a CD256 é de 84,1%. O aluno médio da aprendizagem significativa é superior em média a 572 entre os 686 alunos da disciplina CD256. A Fig. 4.7 procura representar graficamente estes resultados. Os pontos vermelhos são as médias dos alunos com suas respectivas quantidades colocadas lado a lado.

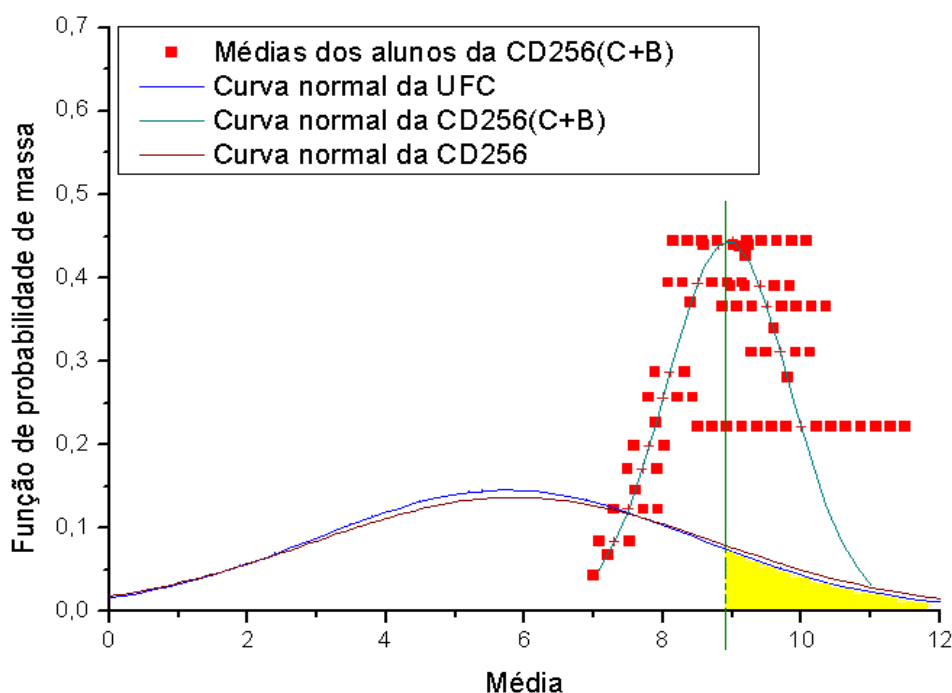
#### **4.4.8 Resultados obtidos pelos alunos da aprendizagem significativa cursando Física Geral II**

Dos 69 alunos aprovados em Física Geral I, 52 matricularam-se na disciplina Física Geral II. Estes alunos foram divididos em 4 turmas, sendo 2 delas a cada semestre. Na instituição, 15 turmas estavam distribuídas pelas disciplinas CD202, CD258 e CD312 nos períodos 2004.1 e 2004.2. A média de Física Geral II, para o conjunto de alunos matriculados,

446, é igual a 6,47 pontos. Para a disciplina CD258 este valor é igual a 6,39. Os desvios padrão são respectivamente, 2,10 e 2,03, acarretando em coeficientes de variação de 32,7% e 31,8%. O aluno médio da aprendizagem significativa obteve nota 7,03 pontos, desvio padrão de 1,69 pontos e um coeficiente de variação de 24,0%.

O índice de reprovação destes dois períodos é igual a 31,4% na UFC, enquanto para os alunos submetidos a aprendizagem significativa nos semestre anteriores, este percentual é igual a 26,9%, também inferior a disciplina CD258 com um percentual de 36,1%. Eliminando-se os alunos com 100% de faltas, estes índices tornam-se 1,92% para a aprendizagem significativa, ou apenas um aluno; 7,10%, 13 entre os 183 matriculados, para a disciplina CD258 e para a instituição, 45 entre os 446, calculando-se um percentual de 10,1%.

Os alunos não reproduziram os escores obtidos em Física Geral I, no entanto, mantiveram-se com as médias superiores tanto a instituição quanto a disciplina CD258, em valores iguais a 0,56 e 0,64 pontos, respectivamente, com apenas um reprovação efetiva no semestre.



**Figura 4.7.** A função de probabilidade de massa em função da média dos alunos para a instituição, para a disciplina CD256 entre os anos de 2000 a 2004 e para o conjunto das turmas experimentais.

# Capítulo 5

## Conclusão

A identificação prévia do conhecimento do aluno, relacionado ao material educativo do currículo, não representa apenas uma vantagem didática para o professor. Ela configura-se como uma referência para o próprio aprendiz, a partir da qual, ele fará uma reflexão ou uma análise crítica do seu nível de entendimento conceitual e matemático. A exploração deste procedimento encaminha o aprendiz para um profundo envolvimento com as características necessárias para a participação em um curso de Física Geral I de alto nível.

A abordagem metodológica que segue a orientação da teoria da aprendizagem significativa, com as idéias mais inclusivas apresentadas a priori, apresenta ao aluno a estrutura organizacional do curso. Desse modo, cria-se um estado de expectativa, pois todos os assuntos em estudo são elementos pertinentes a serem conectados com conceitos mais abrangentes já incorporados a sua estrutura cognitiva. O aluno sabe a todo instante a dependência, a relação e o limite conceitual de cada conteúdo. Na abordagem tradicional, os assuntos são apresentados como se aquele fosse o conhecimento último e em nenhum momento é posto em discussão as variáveis importantes a serem discutidas. Como exemplo, estudar Cinemática sem a devida referência às leis de Newton, ou estudar Mecânica Clássica sem abordar o tema Mecânica Relativística ou Mecânica Quântica.

O processo avaliativo distribuído em várias atividades, tais como: lista de exercícios conceituais e literais para discutir casos particulares; discussão das animações apresentadas; testes escritos com exploração numérica e conceitual; pré-testes; questões subjetivas sobre o entendimento das leis e princípios; participação nas discussões em grupo; mapas conceituais e análise dos testes para avaliar a animação interativa como organizador prévio, amplia a capacidade do professor em observar a evolução e entendimento do aluno sobre os assuntos estudados. Com este recurso em mãos, o professor pode com maior facilidade ou flexibilidade alterar o processo de aprendizagem do seguinte modo: modificar a linha de apresentação do conteúdo; empregar o material avaliado como forma de comunicação escrita com o aluno, ao devolvê-lo com observações e criar uma animação interativa específica que elimine a dúvida do aluno.

A nova forma de avaliação elaborada nesta dissertação, ou seja, a produção das animações interativas pelos próprios alunos, é um recurso que coloca o estudante em contato direto com o professor. As discussões e análises do problema são desenvolvidas em conjunto, caracterizando-se em uma *entrevista*. Nesse evento dedicado mais a exploração conceitual, apesar da necessária e visível influência numérica, o aluno *compartilha* com o professor o seu entendimento sobre as relações necessárias contidas no modelo matemático do fenômeno físico. O poder exploratório desta forma de avaliação é inerente a capacidade desenvolvida pelo professor sobre o conhecimento do assunto em estudo.

A realidade do processo educativo não é restrita ao meio acadêmico. Além do conhecimento prévio sobre o material educativo, a influência do conhecimento sobre as relações sociais e de trabalho destes estudantes, bem como o desenvolvimento do processo de empatia, promove e potencializada a visualização e o poder de criação de animações interativas mais reais para que possam assemelhar-se ao perfil do aluno, na tentativa de apresentar a Física como uma disciplina mais concreta e com uma menor margem de rejeição.

Para o desenvolvimento e aplicação da metodologia apresentada nesta dissertação, modificamos a seqüência lógica do material educativo do currículo tradicional empregado nas nossas salas de aula, criando um novo modelo de livro-texto virtual didático. Esta alteração procurou se adequar a exigência básica de que as idéias, conceitos ou proposições mais inclusivas são hierarquicamente mais importantes. Além dessa necessidade, a capacidade apresentada pelas animações interativas em favorecer a discussão de forma conceitual e aprofundada de um problema, é motivo determinante para se apresentar os princípios físicos em um primeiro momento. Na seqüência, estes princípios e as leis deles derivadas, são novamente discutidos, fazendo-se referência a relação existente entre eles, a todo o instante.

Esta abordagem metodológica amplia a capacidade do aluno em reter o entendimento sobre o conteúdo reduzindo a *assimilação obliteradora*, pois durante todo o curso, os conceitos mais inclusivos são re-visitados com o aprofundamento da idéia central. Neste sentido, a animação interativa é elemento imprescindível, pois em uma mesma animação podemos explorar os princípios da conservação da energia e do momento, e em que condições isto pode ocorrer, as leis da dinâmica e sua aplicabilidade e as equações da cinemática, necessárias para que a partícula na animação interativa seja posta em movimento representativo do fenômeno.

Os problemas ou atividades discutidos e modelados matematicamente com interatividade (animações interativas), em Java ou Modellus, juntamente com a nova seqüência lógica do material instrucional, favorecendo a *diferenciação progressiva* e a *reconciliação integrativa*, apresenta-se como uma metodologia de fácil aplicabilidade. Todo o curso pode ser ministrado em sala de aula, sem a necessidade de uso de um centro computacional. Nos horários para as dúvidas, o uso de pelos menos um computador é necessário, assim sendo, o professor que normalmente dispões deste item no seu ambiente, não precisará ausentar-se para o desenvolvimento da metodologia.

A abordagem metodológica seguindo a linha da aprendizagem significativa, permitiu a clarificação da relação entre os conceitos com o uso da aprendizagem por recepção em sala de aula, desenvolveu uma instrução individualizada bem programada como uma forma de aprendizagem por descoberta dirigida, empregando as animações interativas para as dúvidas e com o processo de pesquisa como apoio à criação artística, uma forma de aprendizagem por descoberta autônoma, favoreceu a produção do próprio conhecimento pelos aprendizes, através da confecção de centenas de animações interativas.

A animação interativa intercalada entre os textos ou gif animados de uma home page servem ao processo de ensino-aprendizagem para a educação à distância. Esta dissertação apresenta como uma possível forma de avaliação do envolvimento do aluno virtual com o processo educativo, o emprego desta ferramenta cognitiva. Os contatos pessoais seriam substituídos por conversações via Chat ou interatividade via Teleconferência. As animações seriam produzidas em tempo real empregado aplicativos escritos em Java (Easy Java Simulations), ou off-line como o Modellus para o Windows e Python para os sistemas operacionais Linux, Mac e Windows.

A avaliação dos resultados obtidos com o uso desta metodologia é considerada estatisticamente muito significativa. Percebemos uma forte concentração das notas dos alunos em torno de uma média elevada, com a conseqüente redução da dispersão das notas. O porcentual de aprovação dos alunos, foi de 100% contra 79,8% da UFC. Quando considerados os alunos reprovados com 100% de faltas, o índice de aprovação é de 77,5% para as turmas da aprendizagem significativa contra 57,1% da instituição. A obtenção do elevado porcentual de aprovação foi garantida, inicialmente, pela manutenção dos alunos comparecendo a sala de aula; segundo, apresentando a Física como uma ponte com os seus conhecimentos do ensino médio; terceiro, facilitando o entendimento com o uso das animações interativas e quarto, dezenas de atividades desenvolvidas durante o período.

# Anexo 1

## **Atividade para avaliar o conhecimento prévio do aluno sobre leis de Newton**

1. Após a formação de grupos de três alunos, leia o texto referente as leis de Newton e discuta com os outros alunos do seu grupo. Expressem os seus conhecimentos atuais sobre estas leis, na forma escrita, com base nas informações do ensino médio, senso comum ou de seu conhecimento adquirido por meio de pesquisas. Respondam aos dois problemas solicitados com justificativa. Após este momento, se necessário, as discussões serão ampliadas e a interação entre os grupos poderá ser mantida.

**Problema 1..** Um pêndulo preso a um teto de um carro acelerado ficará na vertical? E com velocidade constante?

**Problema 2.** Um objeto está colocado sobre uma mesa. A Terra exerce uma atração gravitacional sobre este objeto. A mesa não permite que este se desloque ao aplicar-lhe uma força normal. Quem formaria o par ação-reação, visto que a Terra age no objeto e quem aparentemente reage é a mesa sobre o mesmo?

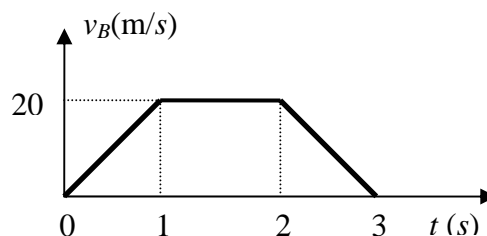


## Anexo 2

### 1º EXERCÍCIO ESCOLAR – Vetores e Cinemática

- Dados os vetores  $\vec{a} = D(2\hat{i} + 4\hat{j})$ ,  $\vec{b} = D(6\hat{i} - 3\hat{j} + 5\hat{k})$  e  $\vec{c} = -2\hat{i} + \hat{j} + 3\hat{k}$  calcule:
  - O vetor  $\vec{n}$  normal aos vetores  $\vec{b}$  e  $\vec{c}$ ;
  - Se o vetor  $\vec{n}$  for considerado o vetor posição de um móvel em um dado instante, qual é o ângulo formado com o eixo dos X;
  - Encontre um vetor  $\vec{d}$  que seja em módulo, duas vezes maior que o vetor  $\vec{e}$  e três vezes maior que o vetor  $\vec{b}$ ;
  - Calcule o produto interno do vetor  $\vec{s}$  dado por  $\vec{s} = 2\vec{e} + 3\vec{b}$  com o vetor  $\vec{a}$ .

- Dois móveis A e B deslocam-se em uma trajetória retilínea. O móvel A encontra-se na posição  $x_{A1} = D$  m no tempo  $t_1 = 2$  s e na posição  $x_{A2} = 30$  m no tempo  $t_2 = 3$  s. O móvel B desloca-se de acordo com o gráfico de velocidade ao lado.



Obs: Considere a posição inicial dos móveis A e B,  $x_{A0} = x_{B0} = 0$  m

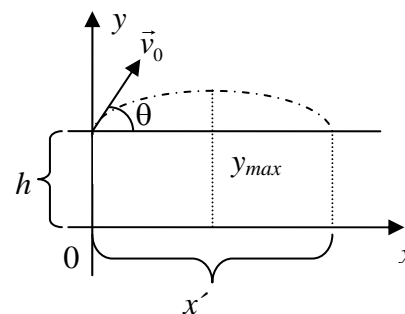
$D = (X+Y+Z)$ . Onde XYZ são os três últimos dígitos da matrícula.

- É possível com os dados disponíveis para o móvel A, encontrar a equação de movimento? Faça os cálculos e justifique;
- Trace os gráficos de  $x_A(t)$  versus  $t$  e de  $x_B(t)$  versus  $t$ ;
- Trace o gráfico de  $v_A(t)$  versus  $t$  e encontre o tempo (os tempos) para que as velocidades dos dois móveis sejam iguais;
- Calcule o deslocamento nos dois movimentos;
- Encontre as equações de movimento para o móvel B nos intervalos  $t \in [0,1]$ ,  $t \in [1,2]$  e  $t \in [2,3]$ ;
- Determine o tempo de encontro dos dois móveis e a posição deste encontro.

- Em um lançamento de projétil, a equação de posição é dada por:

$$\vec{r}(t) = (x_0 + v_{0x}t)\hat{i} + (y_0 + v_{0y}t - 5t^2)\hat{j}.$$

Escolhendo a origem dos eixos de referência no solo de acordo com a figura, determine  $\vec{v}_0 = v_{0x}\hat{i} + v_{0y}\hat{j}$  para  $y_{\max} = (D+4)$  m,  $x' = ?$  m e  $h = D$  m. Calcule o ângulo de lançamento  $\theta$ , o tempo  $t$  de permanência no ar e  $x'$ . Considere o alcance horizontal  $R = 30$  m



## Anexo 3

### 2<sup>o</sup> EXERCÍCIO ESCOLAR – Leis de Newton e Conservação do Momento Linear

1. Um plano de inclinação  $\theta = 60^\circ$  em relação a horizontal suporta três blocos. As massas destes blocos são  $m_A = 1$  kg,  $m_B = 2$  kg e  $m_C = 3$  kg. Os coeficientes de atrito cinético são entre o plano e os blocos,  $\mu_{cA} = 0,63$ ;  $\mu_{cB} = 0,53$  e  $\mu_{cC} = 0,43$ . Um estudante em um experimento distribuiu os corpos de acordo com a Fig. 1 ao lado. (a) Esta configuração permitiu ao estudante calcular as forças de contato entre os blocos? Em caso afirmativo calcule os itens seguintes e caso contrário, troque as posições dos blocos adequadamente e continue a resolução dos próximos itens. (b) Calcule a aceleração do sistema? (c) Calcule as forças de contato entre os blocos.

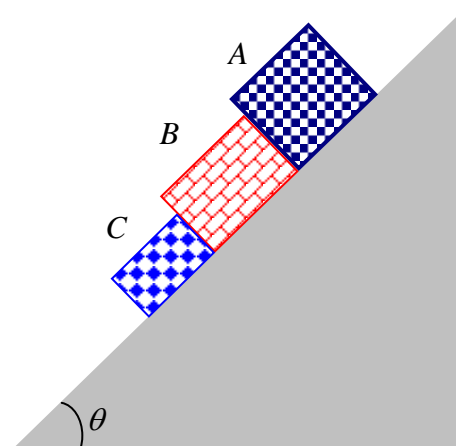


Figura 1. Questão 1.

2. Um sistema composto por três partículas é mostrado na Fig. 2 para o tempo  $t = 0$ . Este sistema é uma representação simplificada de três naves espaciais que se deslocam em uma região do espaço desprovida de ação gravitacional. As velocidades das partículas são  $\mathbf{v}_1 = 3\hat{i}$  m/s,  $\mathbf{v}_2 = 2\hat{i}$  m/s e  $\mathbf{v}_3 = 1\hat{i}$  m/s. (a) Calcule o vetor posição  $\mathbf{R}$  do centro de massa em  $t = 1$  s e localize-o no plano cartesiano, juntamente com todas as outras partículas. (b) Qual é a velocidade  $\mathbf{V}$  do centro de massa decorrido o intervalo de tempo  $t = 1$  s? (c) Encontre qual é o valor da quantidade de movimento linear visto do referencial do centro de massa. Cada divisão no plano cartesiano equivale a 1 m.

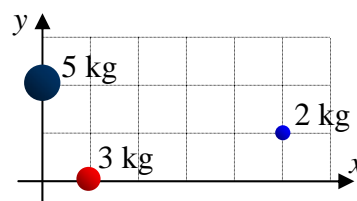


Figura 2. Questão 2.

Os corpos 1, 2 e 3 tem massas respectivas de 5, 3 e 2 kg.

3. Dois blocos se deslocam sobre um plano horizontal liso de acordo com a Fig. 3 ao lado, antes da colisão. Analise as forças que agem sobre os corpos e responda: (a) Posso aplicar a conservação da quantidade de movimento linear? Justifique a sua resposta. (b) Em caso afirmativo calcule a velocidade final do corpo B. As massas dos dois corpos são iguais a  $D$  (número da chamada) e a velocidade final do corpo A é igual a  $-D/5$  m/s.

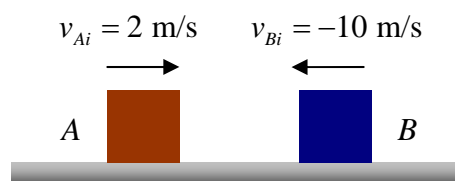


Figura 3. Questão 3.

---

Sugestão:  $\text{sen } 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{1,73}{2}$

# Anexo 4

## LISTA DE EXERCÍCIOS – EXEMPLOS PARA RESOLUÇÃO EM SALA DE AULA (Leis de Newton e Conservação da Quantidade de Movimento Linear)

1. A Fig. 1 mostra dois blocos A e B. A tem a massa  $m$  e B tem a massa  $M$ . No tempo  $t = 0$ , B está em repouso relativo a mesa C e A está em movimento com velocidade  $v_0$  relativo a B. Entre C e B não há atrito. Entre A e B existe um coeficiente de atrito  $\mu$ . A velocidade de A relativo a B diminui e B começa a movimentar-se ao longo de C. Depois de um certo tempo o bloco A estará em repouso relativo a B. (a) Encontre a velocidade final dos dois blocos. (b) Encontre o tempo  $T$ .

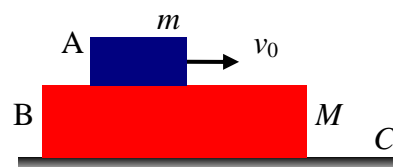


Figura 1. Questão 1.

2. Uma polia fixa mantém dois blocos de massa  $M$  suspensos por um fio inextensível como mostra a Fig. 2. As massas do fio e da polia são desprezíveis. Coloca-se um terceiro bloco de massa  $m$  sobre o bloco da esquerda. Responda: (a) Em que corpos estamos usando a Segunda Lei de Newton; (b) Desenhe todas as forças que atuam nestes corpos; (c) Determine as equações de movimento e (d) Encontre a tração no fio que liga os blocos e no fio que suporta a polia; (f) O tempo necessário para atingir este deslocamento  $d$ . Inicialmente os corpos de massa  $M$  estavam em repouso.

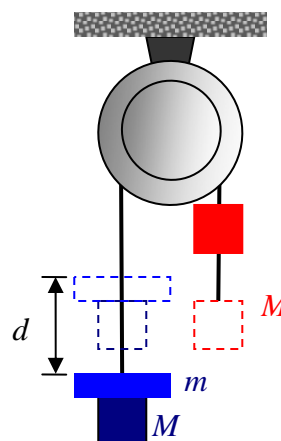


Figura 2. Questão 2.

3. Um corpo A está apoiado sobre um plano horizontal com atrito enquanto um corpo B é pendurado pela presença de uma polia móvel como mostra a Fig. 3. Um fio inextensível conecta os corpos A e B através de uma polia fixa. Os coeficientes de atrito são: o estático  $\mu_e$  e o cinético  $\mu_c$ . Faça os diagramas de corpo de livre para os blocos, escreva a Segunda Lei de Newton e encontre as acelerações dos blocos e suas respectivas trações. Determine qual é a tração mínima no fio que puxa o bloco A para que o movimento se estabeleça.

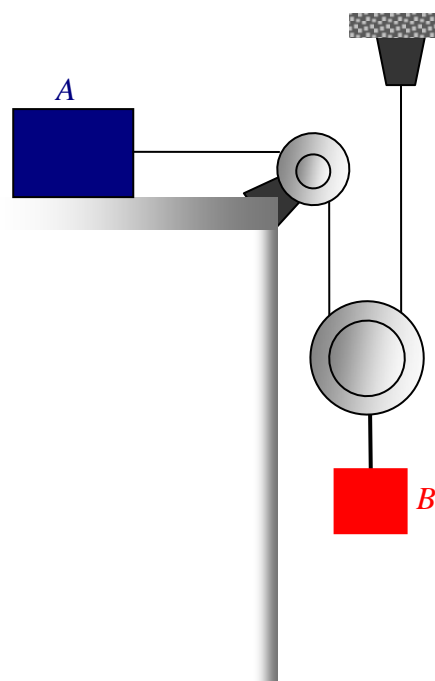


Figura 3. Questão 3.

4. Um bloco de massa  $M$  é puxado através de uma superfície horizontal por uma corda de comprimento  $l$  e massa  $m$ . Sobre esta corda se exerce uma força horizontal de intensidade  $F$  como é apresentado na Fig. 4. Determine: (a) a aceleração do bloco; (b) a tração na corda; (c) a tração na corda quando a massa  $m$  é desprezível em relação a massa do corpo; (d) a tração no meio da corda; (e) a tração em qualquer ponto da corda, sabendo-se que a mesma é homogênea (mesma densidade volumétrica\*).

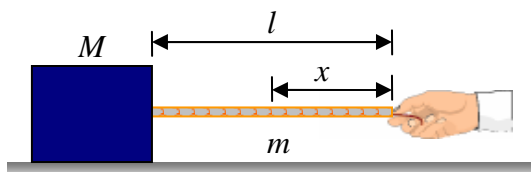


Figura 4. Questão 4.

\* A densidade volumétrica de uma corda cilíndrica é dada por  $\rho = m/V = m/(\pi r^2 l)$ , assim a massa da corda em qualquer ponto é igual a  $m_x = V_x \rho = (\pi r^2 x m)/(\pi r^2 l) = (x/l)m$ .

5. Três corpos A, B e C de massas  $m_A$ ,  $m_B$  e  $m_C$  estão suspensos por um sistema de três polias de massas desprezíveis interligados por fios inextensíveis como mostra a Fig. 5. Como sugestão considere que o corpo C movimenta-se para baixo, enquanto os outros dois movimentam-se para cima. (a) Encontre a tração no fio que suporta os blocos A e B e a tração no fio que suporta o bloco C; (b) as acelerações de cada um dos blocos componentes do sistema.

6. Os corpos A e B de massas  $m_A = m$ ,  $m_B = 2m$ , acham-se suspensos por uma corda de comprimento  $l_1$  que passa por uma polia. Os corpos C e D de massas  $m_C = 3m$  e  $m_D = 4m$  suspensos por uma corda de comprimento  $l_2$  que passa por outra polia como na Fig. 6. Calcule as acelerações dos quatro corpos e as trações que fazem parte do sistema em análise.

7. Um plano de inclinação  $\theta = 50^\circ$  em relação a horizontal suporta dois blocos, um de massa  $m_A = 1$  kg e de outro de massa  $m_B = 2$  kg. Os coeficientes de atrito cinético são: entre o bloco A e o plano,  $\mu_{cA} = 0,8$ ; entre o bloco B e o plano,  $\mu_{cB} = 0,7$ . Calcule a força de contato entre os blocos.

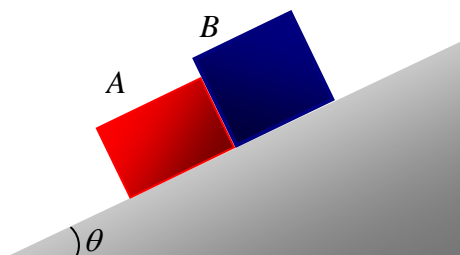


Figura 7. Questão 7.

8. Um sistema composto por quatro partículas é mostrado na Fig. 8. Calcule a posição do centro de massa do sistema. Cada divisão no plano cartesiano vale 1 m.

9. Descreva os pares ação-reação da Fig. 9.

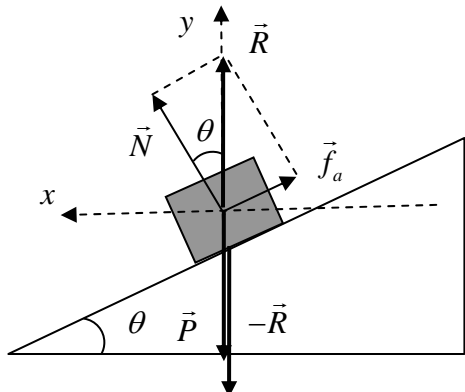


Figura 9. Questão 9.

10. Discuta a representação do centro de massa para o caso em que duas partículas estão envolvidas. Encontre a posição, a velocidade e a quantidade de movimento linear neste referencial.

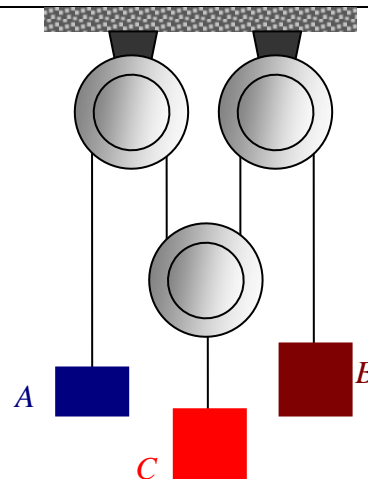


Figura 5. Questão 5.

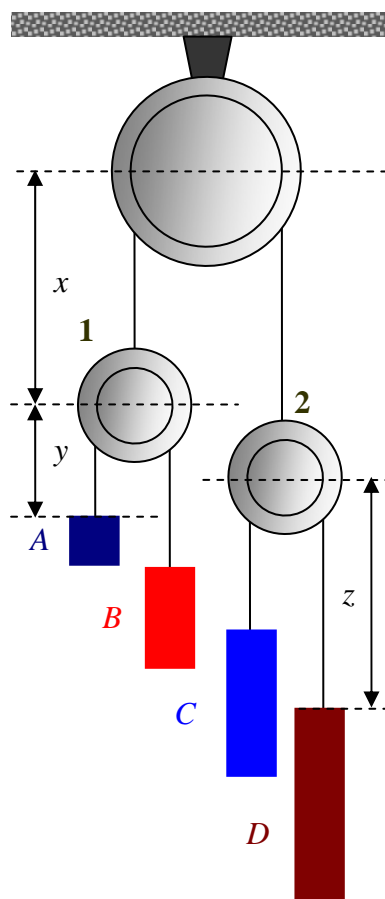


Figura 6. Questão 6.

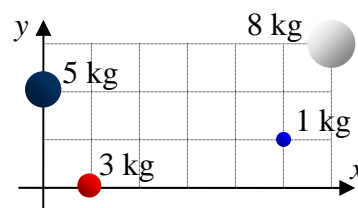


Figura 8. Questão 8.

## Anexo 5

### Notas de aula - A resolução de um problema sobre conservação da energia

Em um exemplo típico de um problema sobre conservação da energia, existe atrito com coeficientes de atrito dinâmico  $\mu_c$  e estático  $\mu_e$  entre o bloco e o plano inclinado de comprimento  $d$  e um ângulo de inclinação  $\theta$  em relação ao eixo horizontal. Em sua base encontra-se uma mola de constante elástica  $k$  e de uma certa distância em relação aos eixos de referência, colocado na posição de compressão máxima da mola, é liberado um corpo de massa  $m$  e nesta posição consideramos nula a energia potencial gravitacional do bloco. Podemos visualizar na Fig. 3.4, página 72, uma representação esquemática deste problema em Modellus.

A segunda lei de Newton para o corpo de massa  $m$  que desce o plano inclinado torna-se  $\mathbf{f}_a + \mathbf{P} + \mathbf{F}_m = \frac{d\mathbf{p}}{dt}$ . Para uma orientação positiva no sentido da base do plano inclinado,

$$-f_a + P_x - F_m = -\frac{dp}{dt} = -\frac{d(mv)}{dt} = -\frac{dm}{dt}v - m\frac{dv}{dt} = -ma. \text{ Observe que o corpo e as forças}$$

conservativas, não estão isolados, visto que uma força externa, a força de atrito, está atuando sobre o sistema. Para um deslocamento infinitesimal  $dx$  na mesma direção das forças,

$$\mathbf{f}_a \cdot d\mathbf{x} + \mathbf{P} \cdot d\mathbf{x} + \mathbf{F}_m \cdot d\mathbf{x} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} \cdot d\mathbf{x} = m \frac{dv}{dt} \cdot d\mathbf{x} \text{ e } \int_{x_i}^{x_f} \mathbf{f}_a \cdot d\mathbf{x} + \int_{x_i}^{x_f} \mathbf{P} \cdot d\mathbf{x} + \int_{x_i}^{x_f} (-kx) \cdot d\mathbf{x} = \int_{x_i}^{x_f} \frac{d\mathbf{p}}{dt} \cdot d\mathbf{x} \text{ para}$$

a integração dos dois lados da equação e na forma escalar

$$-\int_{x_i}^{x_f} f_a dx + \int_{x_i}^{x_f} mg \sin \theta dx - \int_{x_i}^{x_f} kx dx = m \int_{x_i}^{x_f} a dx = m \int_{x_i}^{x_f} \frac{dv}{dt} dx = m \int_{x_i}^{x_f} \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} dx = m \int_{v_i}^{v_f} v dv.$$

Procedendo-se o cálculo das integrais para cada uma das partes envolvidas chega-se a seguinte expressão,

$$-f_a d + mgx_f \sin \theta - mgx_i \sin \theta - \left( \frac{1}{2} kx_f^2 - \frac{1}{2} kx_i^2 \right) = \frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2,$$

ou  $-f_a d + W^{(g)} + W^{(e)} = \Delta K$ , onde  $W^{(g)} = mg(x_f - x_i) \sin \theta = mgd \sin \theta = mgh$  para um deslocamento,  $d = x_f - x_i$ . Como podemos associar uma energia potencial às forças

conservativas, peso e elástica da mola, temos que  $W^{(g)} = -\Delta U^{(g)}$  e  $W^{(e)} = -\Delta U^{(e)}$ , assim,  $-f_a d = \Delta K + \Delta U^{(e)} + \Delta U^{(g)}$ . Esta expressão nos diz que o negativo da força de atrito vezes o deslocamento é igual a variação da energia mecânica do bloco,  $\Delta E = \Delta K + \Delta U^{(e)} + \Delta U^{(g)}$ , portanto,  $-f_a d = \Delta E$ .

Em um sistema isolado a energia total se conserva. Para a situação em que uma força externa passa a agir sobre o sistema, por exemplo, a mesma força de atrito que antes, a variação da energia é igual ao trabalho realizado por esta força, assim,

$$W_{f_a} = \Delta E + \Delta E^{(\text{int})} + \Delta E^{(d)},$$

onde  $\Delta E^{(d)}$  é a variação de todas as outras formas energia no sistema, por exemplo, a elétrica ou magnética. Estas são consideradas desprezíveis para o nosso estudo. Percebe-

se que  $W_{f_a} \neq -\int_{x_i}^{x_f} f_a dx$ , ou simplesmente, o trabalho da força de atrito não é dado por

$-f_a d$ . O trabalho da força de atrito é igual a  $W_{f_a} = -f_a d + \Delta E^{(\text{int})}$  e nos informa apenas a cerca da quantidade de energia que deixou o sistema, aquecendo o piso. Por sua vez,  $-f_a d$ , é igual a energia necessária para o aquecimento do bloco e do próprio piso. Eliminada esta dificuldade de interpretação comumente estabelecida, passamos para a resolução do problema como preparativo para a animação interativa. Empregando a proposição  $-f_a d = \Delta K + \Delta U^{(g)} + \Delta U^{(e)}$ , temos que

$$\begin{aligned} -f_a d'' &= K_B - K_A + U_B^{(g)} - U_A^{(g)} \\ -f_a d' &= K_C - K_B + U_C^{(g)} - U_B^{(g)} + U_C^{(e)} - U_B^{(e)} \\ -f_a d' &= K_D - K_C + U_D^{(g)} - U_C^{(g)} + U_D^{(e)} - U_C^{(e)}, \\ -f_a X &= K_x - K_D + U_x^{(g)} - U_B^{(g)} \end{aligned}$$

e somando os dois lados das equações achamos que  $-f_a d'' - 2f_a d' - f_a X = -K_A - U_A^{(g)} + U_x^{(g)}$ .

A partir da segunda lei de Newton para a direção perpendicular ao movimento determina-se que  $f_a = \mu_c N = \mu_c mg \cos \theta$ . Substituindo-se as expressões para  $K_A$ ,  $U_A^{(g)}$  e  $U_x^{(g)}$  achamos que

$$-\mu_c mg \cos \theta (d'' + 2d' - X) = -\frac{1}{2} m v_A^2 - mg (d'' + d') \sin \theta + mg (d' + X) \sin \theta.$$

Isolando-se a incógnita  $X$ , finalmente obtemos a expressão procurada que nos dá a posição  $x$  em que a velocidade se anula,

$$X = \frac{v_A^2 + 2g[(\sin\theta + \mu_c \cos\theta)d'' + 2\mu_c \cos\theta d']}{2g(\sin\theta - \mu_c \cos\theta)}.$$

A variável  $X$  depende do ângulo de inclinação do plano inclinado, do coeficiente de atrito dinâmico, das distâncias percorridas e da velocidade inicial no ponto  $A$ .

### A animação interativa para um problema sobre conservação da energia

Para o trecho  $AB$  de comprimento  $d''$  determina-se a aceleração  $a$  a partir da segunda lei de Newton,  $-f_a + mg\sin\theta = ma$  e para  $f_a = \mu_c N = \mu_c mg \cos\theta$ , então  $a = g(\sin\theta - \mu_c \cos\theta)$ . Como o movimento é uniformemente variado, escrevemos que

$s = s_0 + v_{0s}t + \frac{1}{2}at^2$  para o movimento da partícula, onde  $s_0 = d'' + d'$  e  $v_{0s} = v_A$ . Isto

quando usamos os eixos orientados segundo a direção do movimento para um deles, eixo  $x$ , e perpendicular a esta direção para o outro, eixo  $y$ . Para o Modellus ou JAVA os eixos são orientados de modo tradicional, o eixo  $x$  cresce positivamente para a direita na horizontal, enquanto o eixo  $y$  aumenta positivamente para cima na vertical. Portanto,  $a$  e  $x$  são apenas os módulos dos vetores  $\mathbf{a}$  e  $\mathbf{s}$ , cujas componentes são:  $a_x = -a \cos\theta$ ,  $a_y = -a \sin\theta$ ,  $x = -s \cos\theta$  e  $y = -s \sin\theta$ . O sinal negativo refere-se a orientação contrária aos eixos tradicionais. As velocidades são obtidas facilmente usando-se a

notação diferencial,  $v_x = \frac{dx}{dt}$  e  $v_y = \frac{dy}{dt}$ .

Para o trecho  $BC$  de comprimento  $d'$ , a segunda lei de Newton é igual a  $-f_a + mg\sin\theta - kx' = -ma = -m \frac{d^2x'}{dt^2}$ , ou seja,  $\frac{d^2x'}{dt^2} - \frac{k}{m}x' + g(\sin\theta - \mu_c \cos\theta) = 0$ . Neste caso temos um oscilador harmônico amortecido que pode ser resolvido pelo Modellus

facilmente. Reescreva a equação anterior como  $\frac{d}{dt}\left(\frac{dx'}{dt}\right) = \frac{k}{m}x' - g(\sin\theta - \mu_c \cos\theta)$  e

faça  $\frac{dv_{x'}}{dt} = \frac{k}{m}x' - g(\sin\theta - \mu_c \cos\theta)$  e  $\frac{dx'}{dt} = v_{x'}$  para que o modelo integre as duas

equações e dê como respostas a velocidade e a posição da partícula. Mais uma vez o aluno deve ter o cuidado de escrever  $x = -x' \cos\theta$  e  $y = -x' \sin\theta$ .

Ao aluno é sempre importante deixar uma escolha. Podemos considerar a solução da equação diferencial ordinária de segunda ordem como superposição de uma solução

homogênea,  $\frac{d^2 x'}{dt^2} - \frac{k}{m} x' = 0$ , onde  $\omega^2 = \frac{k}{m}$ , o que dá um Movimento Harmônico Simples, e neste caso a solução será  $x'_h = d' \cos(\omega t + \phi)$  e uma solução particular cuja forma podemos supor como sendo  $x'_p = Et^2 + Ft + G$ . Derivando uma vez, obtemos  $\frac{dx'_p}{dt} = 2Et + F$  e para uma segunda derivada,  $\frac{d^2 x'_p}{dt^2} = 2E$ . Daí, a equação diferencial  $\frac{d^2 x'}{dt^2} - \frac{k}{m} x' + g(\sin\theta - \mu_c \cos\theta) = 0$  será após substituirmos os valores encontrados para  $x'_p$  e  $\frac{d^2 x'_p}{dt^2}$ ,  $2E - \frac{k}{m}(Et^2 + Ft + G) = -g(\sin\theta - \mu_c \cos\theta)$ . Comparando os dois lados da equação, vemos que  $E = 0$ ,  $F = 0$  e  $G = \frac{mg}{k}(\sin\theta - \mu_c \cos\theta)$ , obtendo-se que a solução será da forma

$$x' = d' \cos(\omega t + \phi) + \frac{mg}{k}(\sin\theta - \mu_c \cos\theta).$$

Para o trecho  $CD$  as equações são semelhantes. Para o último trecho  $DX$ , de comprimento  $X$ , temos a partir da segunda lei de Newton,  $f_a + mg\sin\theta = ma$  e como  $f_a = \mu_c N = \mu_c mg \cos\theta$ , então  $a = g(\sin\theta + \mu_c \cos\theta)$  e  $a_x = -a \cos\theta$ ,  $a_y = -a \sin\theta$ ,  $x = -X \cos\theta$ ,  $y = -X \sin\theta$ ,  $v_x = \frac{dx}{dt}$  e  $v_y = \frac{dy}{dt}$ . Determinadas todas as relações matemáticas do problema, o próximo passo é escrevermos na janela modelo do Modellus, o modelo matemático deste fenômeno físico; mostrar como criar os vetores; apresentar como fazer o controle do oscilador harmônico e estudar vários exemplos: velocidade, massa, ângulo e coeficiente de atrito, com valores alterados.

Uma discussão válida está relacionada aos trabalhos envolvidos no problema. O trabalho das forças conservativas, peso e elástica da mola, não são influenciadas pela

presença da força de atrito. Para o trabalho da força peso temos  $\int_{x_i}^{x_f} \mathbf{P} \cdot d\mathbf{x} = mg\sin\theta(x_f - x_i)$  e

só depende das posições inicial e final; para a mola,  $W^{(e)} = -\left(\frac{1}{2} kx_f^2 - \frac{1}{2} kx_i^2\right)$ , observamos a

mesma dependência com a posição, como é esperado para todas as energias de configuração. O que muda com a presença da força de atrito é a variação na potência associada a tais forças, visto que o intervalo de tempo para o corpo percorrer a mesma



distância será aumentado. Por exemplo, na região entre os pontos A e B, a aceleração sem a presença do atrito é igual a  $a = g \sin \theta$  de modo que a potência para a força peso é

$$P_{psa} = \frac{dW}{dt} = \frac{\mathbf{F} \cdot d\mathbf{s}}{dt} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{F} \cdot (\mathbf{v}_0 + \mathbf{a}t) = F(v_0 + at) = mg \sin \theta (v_0 + g \sin \theta t)$$

$$P_{psa} = mg \sin \theta v_0 + mg^2 \sin^2 \theta t$$

e com atrito,  $a = g(\sin \theta - \mu_c \cos \theta)$  dando

$$P_{pca} = mg \sin \theta [v_0 + g(\sin \theta - \mu_c \cos \theta)t]$$

$$P_{pca} = mg \sin \theta v_0 + mg^2 \sin^2 \theta t - \frac{mg^2 \mu_c \sin 2\theta t}{2}$$

Logo a diferença é igual a  $\Delta P = P_{psa} - P_{pca} = \frac{mg^2 \mu_c \sin 2\theta t}{2}$ .

## Anexo 6

### 3<sup>o</sup> EXERCÍCIO ESCOLAR – Leis de Newton e Conservação

1. Um pêndulo simples, é deslocado da posição B até a posição A através de uma força externa  $F^{ext}$ . Nesta posição, onde as forças agora estão em equilíbrio, o corpo é liberado após cessar a ação da força externa. De acordo com a figura abaixo, escreva o diagrama de corpo livre das forças envolvidas e a partir do seu conhecimento sobre conservação da energia e leis de Newton, responda.

a)	Na posição A, a velocidade é nula?	
b)	Na posição A, a aceleração é nula?	
c)	Quais as forças que atuam no corpo?	
d)	Em que posição a tração é máxima?	
e)	Em que posição a aceleração é máxima?	
f)	Em que posição a velocidade é máxima?	

2. É possível relacionar momento linear e energia cinética? Justifique e se for verdadeira a resposta encontre a relação entre as proposições.

3. Como relacionar a força com o momento linear e qual a condição para que ocorra a conservação do momento?

4. Determinado cidadão observa que aplicando uma força no acelerador de seu carro, a velocidade aumenta. É correto empregar o termo aumento de velocidade? Podemos dizer que a força é proporcional a velocidade do automóvel? Justifique.