



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ**  
**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO CEARÁ**  
**MESTRADO INTEGRADO PROFISSIONAL EM COMPUTAÇÃO**

**Gilvandenys Leite Sales**

**QUANTUM:**  
**UM SOFTWARE PARA APRENDIZAGEM DOS**  
**CONCEITOS DA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA**

**FORTALEZA - CEARÁ**  
**2005**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ**  
**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO CEARÁ**  
**MESTRADO INTEGRADO PROFISSIONAL EM COMPUTAÇÃO**

**Gilvandenys Leite Sales**

**QUANTUM:**  
**UM SOFTWARE PARA APRENDIZAGEM DOS**  
**CONCEITOS DA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA**

**Dissertação apresentada ao Mestrado Integrado Profissional em Computação Aplicada do Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Estadual do Ceará e da Diretoria de Pesquisa e Pós-graduação do Centro Federal de Educação Tecnológica, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Computação. Área de concentração: Informática Educativa.**

**Orientador: Prof. Dr. José Aires de Castro Filho**  
**Co - orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cassandra Ribeiro de Oliveira e Silva**

**FORTALEZA – CEARÁ**  
**2005**

S 163 q Sales, Gilvandenys Leite

Quantum: um software para aprendizagem dos conceitos da física moderna e contemporânea.

92 p.

Dissertação (Mestrado Integrado Profissional em Computação)

1. FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA
2. SOFTWARE EDUCATIVO QUANTUM
3. OBJETO DE APRENDIZAGEM PATO QUÂNTICO.

CDD – 539.0285



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ**  
**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO CEARÁ**  
**MESTRADO INTEGRADO PROFISSIONAL EM COMPUTAÇÃO**

**Título do Trabalho:** Quantum: um Software para Aprendizagem dos Conceitos da Física Moderna e Contemporânea

**Autor:** Gilvandenys Leite Sales

Defesa em: \_\_\_ / \_\_\_ / 2005

Conceito obtido: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

**José Aires de Castro Filho**  
**Presidente - Orientador**

---

**Eloneid Felipe Nobre**  
**Membro Externo**

---

**José Francisco Julião**  
**1º Membro**

A Deus,  
que nos fortalece,  
mesmo quando  
tudo parece impossível.

A Albert Einstein,  
pelo centenário da  
publicação de seus trabalhos.  
1905 - Ano Miraculoso,  
2005 - Ano Mundial da Física.

À Eveline, Juliana e Junior, filhos amados.

À Eliana, companheira de todas as horas.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Dr. José Aires de Castro Filho pelas orientações na dissertação e por inserir-me em seu grupo de pesquisa Algebrativa da Universidade Federal do Ceará, cujos membros agradeço a interação e troca de conhecimentos, em especial a Rafael Telles e Fátima Souza.

Aos Professores: Dr. José Francisco Julião e Dr. Mauro Oliveira do Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará e Dr. Marcos Negreiros da Universidade Estadual do Ceará, pela coragem, força e luta na idealização e manutenção do MPCOMP.

À minha co-orientadora, Professora Dra. Cassandra Ribeiro pela revisão em artigos apresentados em seminários e congressos.

Aos Professores da UFC: Dr. Júlio Wilson e Dr. Paulo de Tarso, por suas orientações no início deste trabalho, à Dra. Eloneid Nobre por aceitar-me como ouvinte do departamento de Física e à Professora Dra. Karina Lira por receber-me na FAGED.

Aos Professores do CEFET-CE: Dra. Nájlila Julião do LERCA, onde encontrei condições e aprendi os primeiros passos na pesquisa científica, a Hairon por suas aulas de programação orientada a objeto, aos professores Valderi, Gorete e Dr. Breves pelas orientações lingüísticas, à Auxiliadora Blum, Etelvina, Núbia, Miriam e Ivonice, por suas contribuições e palavras de incentivo e apoio.

A todos que fazem o MPCOMP, em particular a Cidinha, nossa querida secretária, a Djalma de Souza Queiroz Junior, amigo e consultor de assuntos informáticos, sempre presente, e em especial, a Eliana Moreira, com a qual dividi os estudos e as soluções da vida.

Aos colegas do CEFET-CE, que me toleraram constantemente dentro do laboratório de Física, tais como: Orion, Vanderley, Carneiro, Airton, Demontiei e Aristides. E nas pessoas de Soraya e Clara, alunas do curso de Física, o meu agradecimento a todo o corpo discente do CEFET-CE.

“O mundo mudou bem mais nos últimos cem anos do que em qualquer século. Não por doutrinas políticas ou econômicas, mas por causa do imenso programa tecnológico possibilitado pelos avanços na ciência básica. Quem simboliza melhor esses avanços do que Albert Einstein?”

Stephen Hawking

## RESUMO

O presente trabalho propõe um modelo de um software educativo a ser aplicado no Ensino Médio para o aprendizado de conceitos de Física Moderna e Contemporânea – FMC. A inserção de FMC nas escolas de nível médio deve-se às profundas mudanças nas ciências e aos grandes avanços tecnológicos dos últimos cem anos, marcados pela descoberta de novos materiais e pelo uso de novos equipamentos oriundos da micro-eletrônica quântica, tais como, o *Laser*, aparelhos de ressonância magnética nuclear e das áreas de telecomunicações e informática em geral. Para acompanhar estas inovações, diretrizes e normas vêm sugerindo que a escola, como veículo de transformações sociais e difusora de saberes, procure reformular seu currículo, indo além de conteúdos da Física Clássica, visando assim, à formação de um ser crítico e contemporâneo. Neste trabalho, defende-se o uso de um ambiente informatizado de aprendizagem, denominado QUANTUM, o qual assume, numa perspectiva vygotskiana, a função de instrumento mediador das interações sociais agenciado pelo professor e demais que compõem o seu entorno em busca da compreensão das mudanças conceituais decorrentes da Física Clássica para a Física Moderna. O QUANTUM pretende, como linguagem exterior, constituir-se em signo que auxiliará e motivará na internalização dos modelos representativos dos fenômenos físicos relativos à FMC. Como forma de balizar seu campo de atuação foram analisados: conteúdos de FMC abordados nos livros didáticos de Física voltados para o Ensino Médio e softwares educativos para o ensino de Física. Devido à extensão dos conteúdos de FMC delimitaram-se tópicos relativos ao seu surgimento, limitando-se à radiação do corpo negro e ao efeito fotoelétrico. Para exemplificar o modelo proposto, um objeto de aprendizagem do tipo jogo/simulação, intitulado “Pato Quântico” foi implementado, o qual faz uma metáfora ao efeito fotoelétrico. Finaliza-se com um teste de sua funcionalidade no cálculo de uma das mais importantes constantes da natureza, o “ $h$  de Planck”. Ao defender o uso desses ambientes computacionais para auxiliar na aprendizagem dos novos conceitos oriundos da FMC, espera-se facilitar o ensino de Física e reduzir as dificuldades de práticas experimentais nesta área do saber.

**Palavras-chave:** Física Moderna e Contemporânea; Software Educativo; Objetos de Aprendizagem; Ensino de Física.



## ABSTRACT

The present work proposes a model of educational software to be implemented at the High School level for the learning of Modern and Contemporary Physics (MCP) concepts. The implementation of MCP in the High School levels are necessary due to profound changes in science and great technological advances in the last one-hundred years, marked by the discovery of new materials and the use of new equipment derived from quantum microelectronics, such as, Laser, nuclear magnetic resonant devices, and from areas of telecommunications and computer science in general. To accompany these innovations, educational standards suggest that school, as a vehicle of social transformations and as a means to transfer knowledge, looks to reform its curriculum, going beyond the contents of the Classic Physics, thus striving for the formation of a critical and contemporary citizen. In this work, we argue for the use of a computer science learning environment, called QUANTUM, which assumes, in a Vygotskian perspective, the function of a tool for social interactions mediated by the professor and that further compose the quest for understanding of recurrent conceptual changes of Classic Physics to Modern Physics. In this form, the QUANTUM intends, to become, as an exterior language, symbols that will assist and motivate the internalization of representative models of physical phenomena related to MCP. The work investigated the MCP contents presented in High School Physics didactical books and educational software. Due to the extension of MCP contents, related topics were limited to the radiation of the black body and the photoelectric effect. To exemplify the proposed model of a game/simulation Learning Object, titled "Quantum Duck", was implemented. The Quantum Duck intend to produce a metaphor to the photoelectric effect. It is finalized with a test of its functionality in the calculation of one of the most important constants of nature, the " $h$  of Planck". When defending the use of these Computer Learning Environments for understanding MCP concepts, the hope is to facilitate the teaching of Physics and reduce difficulties of laboratory practices in this area of learning.

**Key words:** Modern and Contemporary Physics; Educational Software; Learning Objects; Science Learning.

# SUMÁRIO

Lista de Figuras  
Lista de Quadros

<b>1 Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1 Considerações iniciais.....	1
1.2 Objetivos .....	4
<b>2 Fundamentação Teórica.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Bases Tecnológicas.....</b>	<b>6</b>
2.1.1 O computador como instrumento de mediação pedagógica.....	6
2.1.2 Softwares Educativos.....	8
2.1.3 Objetos de Aprendizagem.....	11
2.1.4 A importância dos jogos, simulações e modelagens.....	13
<b>2.2 Bases Psico-Pedagógicas.....</b>	<b>16</b>
2.2.1 Um modelo centrado na aprendizagem.....	16
2.2.2 O referencial vygotskiano como modelo pedagógico.....	20
2.2.3 Fatores determinantes para a aprendizagem.....	23
<b>3. Ensino de Física Moderna e Contemporânea.....</b>	<b>26</b>
3.1 Contribuições e Dificuldades.....	26
3.2 Uma Nova Proposta Curricular.....	29
3.3 Livros didáticos e a <b>FMC</b> .....	31
3.4 Softwares de Física.....	36
3.4.1 Softwares sobre o movimento Browniano.....	39
<b>4 Fundamentos de Física Moderna e Contemporânea.....</b>	<b>42</b>
4.1 Radiação de cavidade - Hipótese de Planck .....	42
4.2 O Efeito Fotoelétrico.....	45
4.3 Softwares sobre Efeito Fotoelétrico.....	52
<b>5 Modelagem e Implementação do Software QUANTUM.....</b>	<b>58</b>
5.1 Modelagem do Software QUANTUM.....	58
5.1.1 Diagrama de casos de uso.....	58
5.1.2 Diagrama de Classes.....	60
5.2 Descrição do QUANTUM e interfaces.....	64
5.2.1 O Pato Quântico: uma metáfora do Efeito Fotoelétrico.....	66
5.3 Testando a Funcionalidade do Pato Quântico.....	70
5.3.1 Calculando a constante de Planck.....	70
5.3.2 Outra proposta para calcular a constante de Planck.....	72

<b>6 Conclusão.....</b>	<b>76</b>
6.1 Considerações Finais.....	77
6.2 Sugestão de trabalho futuro.....	78
 <b>Referências Bibliográficas.....</b>	 <b>81</b>
<b>Bibliografia Consultada.....</b>	<b>88</b>
<b>Anexo A – Função Trabalho para o Efeito Fotoelétrico.....</b>	<b>91</b>
<b>Anexo B – Espectro de Emissão de Alguns Metais.....</b>	<b>92</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b> – Movimento Browniano (Arquivo do Software Modellus 2.1).....	<b>40</b>
<b>Figura 3.2</b> – Movimento Browniano (Software Interage – série Lorentz).....	<b>41</b>
<b>Figura 4.1</b> – Curvas de Radiação.....	<b>43</b>
<b>Figura 4.2</b> – Representação do circuito de um fototubo.....	<b>46</b>
<b>Figura 4.3</b> – Fotocorrente $i$ em função da tensão do anodo $V$ .....	<b>46</b>
<b>Figura 4.4</b> – Gráfico do Potencial de freamento <i>versus</i> Freqüência....	<b>50</b>
<b>Figura 4.5</b> – Simulação do Efeito Fotoelétrico.....	<b>52</b>
<b>Figura 4.6</b> – Gráfico do Potencial de corte( $V$ ) <i>versus</i> Freqüência ( $f$ ).....	<b>53</b>
<b>Figura 4.7</b> – Simulação do Efeito Fotoelétrico.....	<b>54</b>
<b>Figura 4.8</b> – <i>Applet</i> após final das interações.....	<b>55</b>
<b>Figura 5.1</b> – Diagrama de Casos de Uso para o sistema QUANTUM .....	<b>60</b>
<b>Figura 5.2</b> – Diagrama de Classes do sistema QUANTUM .....	<b>61</b>
<b>Figura 5.3</b> – Subsistemas que compõem o Quantum.....	<b>62</b>
<b>Figura 5.4</b> – Diagrama de Classes do Pato Quântico.....	<b>63</b>
<b>Figura 5.5</b> – Tela inicial do QUANTUM.....	<b>65</b>
<b>Figura 5.6</b> – <i>Frame</i> do QUANTUM correspondente ao ícone Einstein.....	<b>65</b>
<b>Figura 5.7</b> – Versão preliminar do Pato Quântico.....	<b>66</b>
<b>Figura 5.8</b> – <i>Frame</i> do Pato Quântico.....	<b>67</b>
<b>Figura 5.9</b> – Botão “Sobre” do Pato Quântico.....	<b>68</b>
<b>Figura 5.10</b> – Metais disponíveis no botão “material” do Pato Quântico.....	<b>69</b>
<b>Figura 5.11</b> – Setas indicando freqüência e $ddp$ .....	<b>71</b>
<b>Figura 5.12</b> – Tela de abertura do Software <i>Modellus</i> <sup>TM</sup> 2.5.....	<b>72</b>
<b>Figura 5.13</b> – Software <i>Modellus</i> <sup>TM</sup> 2.5 programado para regressão linear.....	<b>73</b>
<b>Figura 5.14</b> – <i>Applet</i> de ajuste de reta – Regressão Linear.....	<b>74</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 2.1</b> – Síntese dos Modelos Tradicional e Construtivista.....	<b>18</b>
<b>Quadro 2.2</b> – Síntese dos Modelos Instrucionista e Construcionista.....	<b>19</b>
<b>Quadro 3.1</b> – Livros de Física e Temas Estruturadores dos PCN+.....	<b>32</b>
<b>Quadro 3.2</b> – Softwares de Física.....	<b>36</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No final do século XIX, auge do positivismo, a comunidade científica, diante dos avanços obtidos pela Física e do desenvolvimento tecnológico dela advindo, acreditava que havia pouco a se descobrir. Físicos renomados, como William Thomson (Lord Kelvin), até desestimulavam os estudantes da época a prosseguirem seus estudos de Física.

A Física Clássica havia alcançado relativo êxito ao observar a natureza sob a possibilidade de conhecê-la com exatidão, comparando-a a um grande relógio: mecânico, perfeito e previsível.

Neste período, começam a surgir os germes do que seria uma verdadeira revolução conceitual na Física. Afinal, não se conseguiam explicações coerentes, entre outros fenômenos, para a radiação do corpo negro, o efeito fotoelétrico e a questão do éter como referencial inercial privilegiado. As Teorias de Maxwell, que unificaram a eletricidade, o magnetismo e a óptica, pareciam não se aplicar à mecânica.

A nova Física, conhecida como Física Moderna, possui como características principais ser não determinística e probabilística. Tem início com Max Planck em 1900, ao apresentar para a Sociedade Alemã de Física a hipótese de energia quantizada na solução da radiação do corpo negro. Outra contribuição viria com o jovem Albert Einstein em 1905, seu "*annus mirabilis*", ao publicar nos "*Annalen der Physik*", prestigiada revista científica alemã, artigos que tratam do Quantum de Luz e do Efeito Fotoelétrico, do Movimento Browniano e da Teoria da Relatividade Especial. Sua estrutura teórica somente se completaria nos finais dos anos vinte do século passado, com Erwin Schrödinger, Louis de Broglie, Werner Heisenberg, Max Born, Niels Bohr, Wolfgang Pauli e Paul Dirac, entre outros.

A partir da Física Moderna, novas tecnologias, novos processos e novos materiais, tais como: os computadores, os equipamentos de comunicação, os avanços na medicina e toda tecnologia digital foram sendo desenvolvidos e incorporados à vida cotidiana, trazendo bem-estar e melhor qualidade de vida aos seres humanos.

Como forma de fazer com que o aluno acompanhe estas inovações tecnológicas, faz-se necessário trabalhar Física Moderna e Contemporânea - **FMC**, a

partir do ensino médio, conforme preconizam os Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio – **PCN** (BRASIL, 1999) e **PCNs+** Ensino Médio: Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2002). Afinal, não se pode mais continuar a ensinar uma Física que não ultrapassa o ano de 1900 a estudantes que viram encerrar um século marcado por grandes avanços tecnológicos advindos de idéias revolucionárias que transformaram totalmente as ciências, como foi o século XX.

A necessidade de atualização curricular no ensino de Física vem sendo tema de discussão desde as últimas décadas do século passado, face ao novo panorama científico emergente da moderna tecnologia, acentuando-se a preocupação em inserir a **FMC** no ensino médio. A “Conferência sobre o Ensino de Física Moderna” realizada no Fermi National Accelerator Laboratory, em abril de 1986 nos Estados Unidos é, segundo Ostermann (2000), provavelmente, quando começa ou intensifica-se tal preocupação a nível internacional.

Grupos de trabalho organizados na III Conferência Interamericana sobre Educação em Física realizada em 1987 no México, elencaram razões para a inclusão de **FMC** no ensino médio. Tais razões, praticamente consensuais entre pesquisadores de ensino de Física, desde então mais freqüentes na literatura são: despertar a curiosidade no aluno; mostrar a Física como empreendimento humano; incorporar à formação dos estudantes aspectos de **FMC**; analisar conceitos físicos tratados de forma incorreta pelos meios de comunicação; e contribuir para que o aluno construa uma idéia de ciência e das características do trabalho científico mais adequado ao real (ARRIASSECQ; GRECA, 2004).

Outro fator que justifica a inserção de **FMC** no ensino médio é que concepções espontâneas, opiniões ou impressões pessoais, formuladas a partir de situações não-didáticas alimentadas pela mídia, têm contribuído para distorcer conceitos científicos que norteiam a Física Moderna. Tais distorções poderão constituir obstáculos à aprendizagem futura, pois estas concepções alternativas ou representações dos alunos são muito resistentes a mudanças (RICARDO, 2003). Como exemplo, pode-se citar o jargão popular: “Como dizia Einstein: Tudo é relativo”, isto certamente não deve ter sido pronunciado por ele, já que as teorias da relatividade são baseadas em um pressuposto absoluto que é a velocidade da luz no vácuo.

No Brasil, a inserção da **FMC** no ensino médio é proposta que vem sendo apresentada em vários trabalhos científicos, mesmo antes da promulgação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - **LDB** (BRASIL, 1996), e inspirou o XII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF realizado em Belo Horizonte - MG de 27 a 31 de janeiro de 1997.

Mais recentemente, os **PCNs+** (BRASIL, 2002), no lugar de conteúdos gradeados, propõem temas estruturadores, entre eles aqueles relacionados à **FMC**, e sugerem uma nova matriz curricular para as três séries do ensino médio.

A escola, como espaço de transformação e formação integral de um ser crítico e contemporâneo, deve garantir o acesso aos saberes, bem como conduzir o aluno ao “domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna” e ao “conhecimento das formas contemporâneas de linguagem” (BRASIL, 1999, p.62).

Ademais, a partir do conhecimento de novos modelos físicos, o aluno poderá compreender melhor os fenômenos que envolvem a aplicação do efeito fotoelétrico em dispositivos que comandam a abertura de portas, as novas tecnologias nas áreas de medicina, como tomografias computadorizadas, e a evolução tecnológica das áreas de telecomunicações e informática, proveniente da microeletrônica quântica.

Expostas as justificativas da inserção da **FMC** no ensino médio, defende-se o uso de ambientes computacionais como vetores de facilitação da aprendizagem. Para tanto, é preciso oferecer ao aluno oportunidades para que sua aprendizagem e autoformação ocorram a partir do uso das tecnologias de informação e comunicação, mediante a interação com softwares educativos, Internet e demais opções que a *web* disponibiliza.

O uso de um ambiente informatizado servindo de laboratório virtual de Física justifica-se pela relação custo-benefício, pois, em se tratando de **FMC**, pensar em material experimental, alternativo ou não, implica elevados investimentos financeiros, seja em equipamentos e/ou infra-estrutura, sem contar as limitações de ordem operacional, que exigem predisposição e qualificação de profissional capacitado.

Desta forma, este trabalho procura mostrar a importância de ambientes informatizados de aprendizagem sem anular a importância da experimentação ou qualquer outro recurso de ensino, ressaltando sua potencialidade em transformar



seus modelos virtuais em cenários de percepção e construção de conceitos abordados na **FMC**.

Motivado pelo contexto acima apresentado, este trabalho propõe-se a desenvolver um modelo de software educativo denominado **QUANTUM**, para a aprendizagem de conceitos da **FMC**.

Este software visa a auxiliar professores e alunos a compreender as mudanças conceituais decorrentes da passagem da Física Clássica para a Física Moderna, os novos modelos quânticos da matéria e os principais conceitos a ela relacionados.

A seguir são definidos os objetivos adotados para nortear este trabalho.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Geral

- Propor o modelo de um software educativo fundamentado em teorias sócio-cognitivas denominado **QUANTUM**, para auxiliar na compreensão dos conceitos básicos de Física Moderna e Contemporânea - **FMC**.

### 1.2.2 Específicos

- Estabelecer as bases teóricas: Tecnológicas e Psicopedagógicas responsáveis por nortear a concepção do software **QUANTUM**;
- Analisar as propostas já existentes em livros didáticos e softwares educativos para o ensino de **FMC**;
- Propor o modelo geral de arquitetura do **QUANTUM**;
- Desenvolver e fazer a implementação de uma ou mais atividades do software; e
- Testar a funcionalidade das atividades implementadas na solução de uma situação problema.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

No segundo capítulo, discute-se o computador como ferramenta e/ou instrumento de aprendizagem, relata-se seus diversos modos de utilização no ensino de Física, bem como classifica-se os vários tipos de softwares educativos utilizados como auxiliares na aprendizagem. Trabalha-se o conceito de objetos de aprendizagem e a importância de softwares do tipo jogos/simulações e modelagens.

A seguir discute-se o modelo construtivista/construcionista de educação fazendo-se um paralelo com o modelo tradicional/instrucionista. Também é discutida a proposta pedagógica sociointeracionista adotada na construção do **QUANTUM**.

No terceiro capítulo, faz-se um levantamento da conjectura de se inserir **FMC** no Ensino Médio, fato que se desenrolou nas últimas décadas do século XX, passando pela análise de livros didáticos e softwares educativos de Física. Sugere-se uma lista de conteúdos de **FMC** que devem compor uma proposta de currículo para o ensino de Física a nível médio. E encerra-se o capítulo com a apresentação de dois softwares que tratam de tópicos de **FMC**.

No quarto capítulo, desenvolvem-se teoricamente dois tópicos de **FMC**. A hipótese de Planck aplicada na radiação do corpo negro e o Efeito Fotoelétrico, para que sirvam de embasamento aos objetos de aprendizagem que serão implementados no **QUANTUM**. Analisam-se, ainda, dois *applets* relacionados ao Efeito Fotoelétrico para futuras comparações das ações a serem incrementadas pelo **QUANTUM**.

No quinto capítulo, apresenta-se a arquitetura do software educativo **QUANTUM**, com o objeto de aprendizagem “Pato Quântico” implementado, como modelo da proposta computacional/pedagógica defendida neste trabalho, e propõem-se atividades para o teste de sua funcionalidade, de forma isolada, ou em conjunto com outros objetos de aprendizagem dispostos na rede Internet.

Nas conclusões, sexto capítulo, aborda-se a potencialidade que apresentam os softwares educativos em auxiliar a aprendizagem, e sugerem-se trabalhos futuros, como a implementação de mais objetos de aprendizagem que tratem de **FMC** e o desenvolvimento de uma metodologia de ensino mediada pelo **QUANTUM**.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

O desenvolvimento de softwares educativos deve estar fundamentado em dois alicerces, chamados aqui de bases tecnológicas e bases psicopedagógicas. Nas bases tecnológicas aporta-se no papel da informática na educação e seus softwares como ferramentas capazes de contribuir significativamente na aquisição de conhecimento quando devidamente mediada por teorias educacionais, consideradas como as bases psicopedagógicas.

A seguir, traçam-se as bases que fundamentarão este trabalho e dar-lhe-ão suporte.

### **2.1 BASES TECNOLÓGICAS**

A criação de ambientes informatizados de aprendizagem (softwares educativos) visa instrumentalizar o aluno em seu processo de aprendizagem. A seção que se segue trata do uso da informática no ensino, destaca a importância do computador e seus softwares como ambiente de aprendizagem e encerra discutindo o uso de objetos de aprendizagem do tipo jogo e simulação.

#### **2.1.1 O Computador como instrumento de mediação pedagógica**

O uso do computador no Brasil aplicado à educação teve início na década de 70 do século XX, mais restrito às universidades. Em 1979, com a chegada do microcomputador PC (*Personal Computer*), ou computador pessoal, como ficou conhecido, inicia-se o seu processo de disseminação no ensino. Segundo Fiolhais e Trindade: “A história da utilização de computadores na educação costuma ser dividida em dois períodos: antes e depois do aparecimento dos computadores pessoais” (2003, p.260).

A princípio, os softwares refletiam o modelo de máquina de ensinar, proposta por Skinner, no início dos anos 50, a qual dava ênfase nas contingências de reforço, no comportamento e/ou conduta e no condicionamento como forma de que ocorra a aprendizagem para um sujeito totalmente passivo. Para Skinner: “Ensinar é simplesmente o arranjo de contingências de reforço sob os quais estudantes aprendem” (MILHOLLAN; FORISHA, 1978, p.111). Para Carraher (2001,

p.176), ainda hoje é habitual encontrar software em que: “[...] o papel do aluno é aprender a dar respostas verbais corretas, enquanto o papel do computador é simplesmente apresentar informações e informar ao aluno se sua resposta está correta ou errada”.

Nos anos 80, o ambiente de programação LOGO, criado desde a década de 60 por Seymour Papert, viria a se tornar um marco na história dos computadores pessoais em atividades educacionais. O LOGO possibilita a programação para crianças e é um ambiente computacional interativo “[...] onde crianças podem aprender e comunicar-se com computadores” (Papert, 1986, p. 22). Por muito tempo foi o único software aplicado ao ensino. Fiolhais e Trindade (2003) também atribuem ao físico norte-americano Alfred Bork o pioneirismo na utilização do computador no ensino.

A partir do LOGO, o computador passou a ser visto como uma ferramenta intelectual que possibilita a seus usuários a oportunidade de descobertas e aprendizagens. Ramal (2002) destaca o caráter mediador do computador, além de considerá-lo como “[...] extensões, próteses do corpo humano [...]” (p.18), ressalta que o computador: “[...] além de instrumento de comunicação e de armazenamento de dados, conquista o status de ambiente cognitivo, tecnologia mediadora a partir da qual vemos o mundo e construímos conhecimento” (p.15).

Ainda nos anos 80, desenvolve-se a Internet e a World Wide Web, fato marcante na aplicação de meios telemáticos à educação em virtude da facilidade de acesso à informação, o que não significa necessariamente acesso ao conhecimento e à aprendizagem.

Nos anos 90, já mais acessível financeiramente, o computador se popularizaria ao invadir escolas e residências. Hoje os computadores constituem uma tecnologia necessária a serviço da educação.

O computador como tecnologia mediadora faz-se cada vez mais presente na relação ensino/aprendizagem de Física, seja diretamente na sala de aula, ou mesmo como instrumento auxiliar na prática experimental, podendo ser usado:

●**Para aquisição de dados experimentais em tempo real:** Nas práticas de laboratório é possível, com o uso de sensores, plugados via portas seriais, medir e controlar grandezas físicas tais como: tempo, posição, temperatura etc., ou mesmo usar o computador em substituição a um aparelho de laboratório. Por exemplo, um

computador pode funcionar como freqüencímetro. Para isto, basta que se instale nele um programa que reproduza as mais variadas freqüências<sup>1</sup>.

●**Multimídia e Internet:** Na navegação não linear, multimídia dos hipertextos e seus links. Em um módulo multimídia, a informação, além de textual, pode incluir: sons, imagens e vídeos. Além disso, as simulações possibilitam uma maior interatividade. A escolha do caminho a seguir é pautada pelas necessidades e ritmos do interagente, conferindo flexibilidade a esta modalidade de uso do computador. Segundo Fiolhais e Trindade (2003), a multimídia pode apresentar-se *off-line* ou *on-line*, respectivamente, se a informação é acessada em disco local ou na Internet. Multimídia do tipo *off-line* tem conteúdo restrito às opções oferecidas pelo software, o que constitui uma desvantagem frente à modalidade *on-line*, que se tornou muito mais econômica.

●**Realidade Virtual:** Utiliza dispositivos de imersão, tais como óculos e capacetes especiais, que conferem uma maior interação e similaridade com o mundo real, possibilitando a visualização de modelos tridimensionais e uma experiência multisensorial que muito se assemelha à realidade do laboratório, ao permitir que o cenário do ambiente virtual interponha-se entre a tela do monitor e o usuário.

Os professores devem vencer a resistência ao uso do computador e fazê-lo coadjuvante de sua práxis pedagógica, fazendo uso das possibilidades de aprendizagem oferecidas pelos softwares educativos.

Como tecnologia intelectual, os softwares educativos podem ampliar as nossas capacidades cognitivas. A seção a seguir classifica e discute a aplicação do software educativo no ensino.

### 2.1.2 Softwares Educativos

Software educativo é um meio e/ou um instrumento de colaboração no desenvolvimento da aprendizagem, e funciona como mediador pedagógico. Este recurso informatizado “[...] por si só não garante a inovação, mas depende de um projeto bem arquitetado, alimentado pelos professores e alunos que são usuários” (BEHRENS, 2000, p.99).

---

<sup>1</sup>Um exemplo é o VSOM, disponível gratuitamente em <http://us.share.geocities.com/pextensao/Vsom.zip>.

Os softwares educativos podem ser classificados nos tipos discriminados a seguir:

●**Tutoriais:** são softwares pouco interativos que reproduzem informações como um livro digital, ou um professor eletrônico. A informação didaticamente seqüenciada é selecionada pelo aluno, que a lê na tela ou a escuta. Desta forma, o computador funciona como uma máquina de ensinar, podendo conter a categoria exercícios-e-práticas.

●**Exercícios-e-Práticas:** visam a treinar e desenvolver alguma habilidade, como resolver problemas de Física, por exemplo. A avaliação da ação executada, ou soluções dos problemas podem ser fornecidas pelo próprio computador. Este tipo de software prioriza o fazer mecânico e repetitivo, não se importando com a esfera do compreender, que simboliza mudanças nas estruturas cognitivas do aprendiz.

●**Simulação e Modelagem:** Possibilitam ao interagente experienciar situações em nível conceitual das práticas de laboratório, que, por se revestirem de complexidade ou riscos, tornam-se seguras nos ambientes de simulação. Para tanto, é necessário fornecer um modelo (modelagem) do fenômeno físico em questão usando a linguagem matemática, que devidamente implementado no software serve para criar simulações interativas. A fase da modelagem assemelha-se à atividade de programação. As simulações podem também dispensar o modelo matemático valendo-se de esquemas algorítmicos. Como resposta, o programa fornece um *feedback* apropriado na forma gráfica ou animações. Ao utilizar este tipo de software “[...] as ações básicas do aluno consistem em alterar valores de variáveis ou parâmetros de entrada e observar as alterações nos resultados” (FIOLHAIS; TRINDADE, 2003, p.264).

●**Jogos:** São softwares revestidos de aspectos lúdicos e com alto grau de interatividade, o que amplifica seu potencial para uso pedagógico. Os jogos educativos, além de proporcionarem o entretenimento característico dos jogos de ação, aventura e/ou estratégia, apresentam ainda objetivos pedagógicos implícitos. Foram desenvolvidos com o intuito de desafiar e motivar o aprendiz podendo envolvê-lo em uma competição com o programa e os colegas. Attingir o objetivo de vencer o jogo, com a rapidez de respostas proporcionadas pela atual geração de

computadores, cada vez mais velozes, funciona como recompensa e leva o interagente ao prazer e fascínio pelos jogos.

Ao optar por um desses softwares, como instrumento auxiliar para a aprendizagem, deve-se ter o cuidado em fazer valer os objetivos educacionais traçados, pois segundo CARRAHER (2001), seu uso:

[...] em si, não constitui uma experiência educativa completa [...] Via de regra, um software não funciona automaticamente como estímulo à aprendizagem. O sucesso de um software em promover a aprendizagem depende da integração do mesmo no currículo e nas atividades de sala de aula. Um software bem conhecido e elaborado não será necessariamente bem implementado e trabalhado, porque é importante que a professora relacione as lições com aquilo que o aluno já sabe (p.183, 185).

Reforçando as idéias acima, a mediação pedagógica de alguém mais experiente é de singular importância no trabalho de sala de aula, sem obviamente anular a livre descoberta por parte de alguns alunos.

É necessário que os professores assumam a postura de “[...] arquitetos cognitivos, dinamizadores da inteligência coletiva [...]” (RAMAL, 2002, p.244) ao planejarem suas metas de ação integradas ao uso do software, a fim de explorarem bem suas potencialidades no trabalho junto aos alunos.

Não se pode fazer do software educativo apenas mais um recurso áudio-visual disponibilizado pela escola para auxiliar o processo ensino-aprendizagem, e que muitas vezes é subutilizado e esquecido no canto das salas de coordenação.

Auxiliado pelo software, o professor, numa aula de Física, além de ganhar tempo para as atividades de resolução de problemas ou de discussões conceituais, pode operacionalizar a alteração de dados em situações inconcebíveis no referencial do laboratório, como, por exemplo, simular a resultante das forças de empuxo que um corpo recebe quando imerso numa cuba de mercúrio na superfície da Lua, criando rapidamente novas situações-problema com resultados imediatos, que poderão estimular reflexões e oferecer uma gama maior de variáveis para conclusões mais bem fundamentadas acerca do fenômeno em estudo.

Ao decidir fazer uso de um software educativo, deve-se analisá-lo antes de sua utilização, para certificar-se que não contenha erros conceituais. Em suas reflexões sobre as possibilidades e limitações da informática no ensino de Física, Medeiros e Medeiros (2002) levantam a questão que a falta de conhecimento em Física possa levar desenvolvedores de softwares a equívocos em sua confecção.

A seguir, trata-se do conceito de objetos de aprendizagem, que ultimamente tem levado à reflexão desenvolvedores de softwares e despertado a atenção de professores e alunos quanto a este modo de utilização dos computadores.

### 2.1.3 Objetos de Aprendizagem

O uso do computador interligado em rede transformou-o em instrumento de difusão da informação, por conseguinte, tecnologia intelectual e ferramenta cognitiva cada vez mais a serviço da educação. Mas, para que isto ocorresse, o padrão de satisfação de seus usuários/interagentes tem exigido o desenvolvimento de adequadas tecnologias, cujas respostas estão na maior rapidez com que as informações são veiculadas, a preocupação cada vez maior com a interface e o grau de interatividade.

Esta exigência em tecnologia hipermídia tem convergido para os *Learning Objects* - Objetos de Aprendizagem - que são “qualquer recurso digital que possa ser reutilizado no suporte à aprendizagem” (WILEY, 2000) e surgiram com a intenção de minimizar os problemas de armazenamento e distribuição de informações.

Estas necessidades têm despertado nos desenvolvedores de recursos de aprendizagem, que utilizam tecnologia de informação e comunicação para apoio à atividade educacional, cada vez mais preocupações não só por conteúdos, mas também por: navegabilidade, interoperabilidade e reusabilidade, características estas comentadas oportunamente ao longo deste texto.

Podem-se construir Objetos de Aprendizagem usando HTML, Java, *Activex Controls*, *Flash* ou combinação destas ferramentas, o que os tornam mais navegáveis na rede *web*, e conferem-lhes interoperabilidade na medida em que podem ser aceitos em qualquer plataforma e figurar em qualquer biblioteca virtual. Uma espécie de biblioteca virtual é a *Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching* – MERLOT<sup>2</sup>, que abriga hoje mais de dez mil Objetos de Aprendizagem das mais diversas áreas.

---

<sup>2</sup> <http://merlot.org>



Por apresentarem os conteúdos em pequenas porções, facilita sua atualização e reutilização. Sua reusabilidade faz com que um conteúdo educacional, ou parte dele, possa ser usado em diferentes contextos e ambientes de aprendizagem, além de poderem ser adaptáveis às necessidades, habilidades e ritmo cognitivo de cada usuário.

No Brasil a produção de Objetos de Aprendizagem é hoje alvo do Ministério da Educação, que por meio da Secretaria de Ação à Distância – SEED e da Secretaria de Educação Média e Tecnológica – SEMTEC colocou em ação no ano de 2004 o programa Rede Internacional Virtual de Educação – RIVED.

O programa RIVED envolve o Brasil, Peru e Venezuela e tem por objetivo desenvolver módulos educacionais digitais nas áreas de Matemática, Física, Química e Biologia do ensino médio, constituindo-se em verdadeira fábrica virtual de objetos de aprendizagem, com fins de ajudar o professor a transformar sua sala de aula em ambientes interativos de aprendizagem e “oferecer uma educação contextualizada (*reality-on*), estimular o raciocínio (*minds-on*) e proporcionar a experimentação/exploração dos fenômenos (*hands-on*)” (BRASIL, 2004).

Uma outra experiência é a do LabVirt, um laboratório virtual desenvolvido pela Escola do Futuro da Universidade de São Paulo - USP, em que, a partir de situações-problema do cotidiano, são gerados Objetos de Aprendizagem do tipo simulações/animações por estudantes universitários, que as publicam na Internet, para que alunos de escolas públicas possam discuti-los em suas comunidades de aprendizagem.

Segundo o portal educacional Universia Brasil, o projeto do Laboratório Virtual da USP já atingiu de forma direta aproximadamente 4000 alunos e indiretamente 60000 (COSCARELLI, 2004).

No ano de 2004, a Associação Brasileira de Educação à Distância - ABED e o Universia Brasil lançaram o “Prêmio Abed-Universia para objetos e recursos de aprendizagem” como forma de incentivo à criação de recursos e desenvolvimento de Objetos de Aprendizagem. Todos os objetos que concorreram ao prêmio podem ser acessados no endereço eletrônico do Universia Brasil<sup>3</sup>.

Motivado por este contexto, elencam-se a seguir razões para se optar por Objetos de Aprendizagem (OA) na idealização de um software educativo para o

---

<sup>3</sup> <http://www.universiabrasil.net/premioabeduniversia/ranking.jsp>

processo ensino-aprendizagem de Física. Toma-se como pressuposto que um OA deve conter apenas o que for mais importante para o usuário/interagente a cada momento específico. Portanto, os OA devem ser pequenos e com objetivo específico, para que possam se inserir em um tempo de aula dando suporte direto ao professor em sua sala de aula.

Seguindo a mesma lógica, os OA não devem conter páginas e mais páginas que rolam ao comando do mouse ou do teclado, pois isto pode tornar o objeto do conhecimento mais complexo de ser apreendido. Portanto, deseja-se que sua interface gere satisfação, em vez de causar fadiga ou cansaço devido à sobrecarga de informações ou imagens. Por fim, que valorize os aspectos lúdicos, desperte a criatividade, aguace a aprendizagem por meio da descoberta e compreensão, priorize a fenomenologia ao permitir a discussão conceitual do fenômeno físico, e assim sirva como antídoto ao formulismo, deixando de dar tratamento puramente matemático na interpretação de um fenômeno físico.

No próximo item, amplia-se, devido sua relevância a este trabalho, a discussão acerca de softwares do tipo jogo e simulação.

#### **2.1.4 A importância dos jogos e das simulações.**

O fato da Física lidar com conceitos muitas vezes abstratos e trabalhar com materiais que estão longe do alcance real e de nossos sentidos faz de seu ensino uma tarefa árdua para muitos professores e espinhosa para os alunos que a estudam.

Segundo Medeiros e Medeiros (2002), os professores têm buscado uma saída, e para amenizar esta situação eles “[...] têm freqüentemente utilizado o recurso ao real concreto e às imagens como um complemento ao uso das linguagens verbal, escrita e da matemática” (p. 78); e cita que “os defensores de informática no ensino da Física têm apontado o uso de animações por computadores como uma solução para tais problemas” (p. 79).

As simulações computacionais para a aprendizagem da Física visam a criar modelos virtuais de uma realidade física, difícil de ser imaginada ou concretizada através da *observação* direta. Tais modelos buscam facilitar a construção de um modelo mental.

A criação de uma simulação computacional é embasada em um modelo real. Segundo Medeiros e Medeiros (2002): “[...] um sistema real é freqüentemente muito complexo e as simulações que o descrevem são sempre baseadas em modelos que contêm, necessariamente, simplificações e aproximações da realidade” (p. 80).

Medeiros e Medeiros (2002) impõem os limites das simulações computacionais, quando cita que: “Uma simulação pode tão somente imitar determinados aspectos da realidade, mas nunca a sua total complexidade. Uma simulação, por isso, nunca pode provar coisa alguma. O experimento real será sempre o último juiz” (p. 83). Entretanto, o experimento real nem sempre é possível, principalmente quando se trata de Física Moderna.

Para Fiolhais e Trindade (2003):

Embora as simulações não devam substituir por completo a realidade que representam, elas são bastante úteis para abordar experiências difíceis ou impossíveis de realizar na prática (por serem muito caras, muito perigosas, demasiado lentas, demasiado rápidas, etc.) (p. 264).

Em relação às simulações, Valente (1998) afirma que: “Por si só ela não cria a melhor situação de aprendizado” (p. 11). Para o autor, as simulações devem ser um complemento, com o cuidado para que não venha a formar um modelo distorcido do objeto real como se ele pudesse ser simplificado e passível de controle. Portanto, é função do professor trabalhar de forma crítica para poder estabelecer os limites entre o virtual e o real.

Por outro lado, simulações com caráter de jogo, quando bem articuladas a estratégias pedagógicas propostas pelo professor, podem acarretar não somente o desenvolvimento cognitivo, mas também mudanças em aspectos afetivos e sociais do aluno, pois os jogos incitam as interações sociais. Para Oliveira, Costa e Moreira. (2001):

Uma situação de jogo oferece aos usuários intensa interatividade, permitindo ampliar as relações sociais no ambiente de ensino, cativando o interesse dos alunos em relação a temas muitas vezes difíceis de serem apresentados por outras abordagens. A essência do jogo educacional é a aprendizagem com prazer e a criatividade com diversão (p.81).

Entretanto, ao usar jogos, deve-se ter o cuidado em não deixar como segundo plano os objetivos pedagógicos por ele proposto e supervalorizar a

competição e o vencer o jogo. Este é o grande problema apontado por Valente (1998), além do que “a maioria dos jogos explora conceitos extremamente triviais e não tem a capacidade de diagnóstico das falhas do jogador” (p. 10).

Ao priorizar a apreensão de conceitos envolvidos, que os erros de jogada sirvam para reflexão e tomada de consciência dos conceitos errôneos empregados. Desta forma, um software tipo jogo cumpriria um importante papel, pois eles se prestam bem para trabalhar em mudanças conceituais.

Espera-se que objetos de aprendizagem do tipo jogo, simulação e/ou modelagem, além de trazerem a vertente lúdica para o processo de aprendizagem, sejam atrativos, incitem a interatividade, despertem o prazer em aprender, sejam eficientes no cumprimento do objetivo proposto e motivadores das relações sociais no mundo vivencial do aluno.

Para encerrar esta seção, é importante frisar que frente a estas ferramentas tecnológicas, professores de Física deviam tentar não fazer uso tão freqüente das palavras “imagine que”, “suponha que”, criando um verdadeiro abismo entre o fenômeno físico real e o modelo que se pretende estabelecer. Como alternativa a este imaginário, que pode não despertar a motivação e vontade de aprender por parte do aluno, os professores deveriam lançar mão do virtual e levar seus alunos a explorarem os softwares e/ou objetos de aprendizagem, ou mesmo o ciberespaço<sup>4</sup>, fazendo o papel de mediador, conduzindo o aluno a ir e vir do real para o virtual.

Entretanto, deve-se ter o cuidado de não fazer o velho com o novo, ou seja, manter as estruturas educacionais existentes, reforçando-as, ao invés de desafiá-las. Tentar fazer melhor aquilo que anteriormente já se fazia não significa abrir-se ao novo. “A tecnologia será importante, mas principalmente porque irá nos forçar a fazer coisas novas, e não porque irá permitir que façamos melhor as coisas velhas” (DRUCKER, 1993, p.153, Apud MACHADO, 2002, p. 171)

A seguir delinea-se uma fundamentação pedagógica compatível com a tipologia de software que se pretende.

---

<sup>4</sup> É um espaço de comunicação que engloba a infra-estrutura material da comunicação digital, todo o lastro de informações que ela encapsula, bem como os interagentes que navegam e nutrem esse universo (LÉVY, 1999)

## **2.2 BASES PSICOPEDAGÓGICAS**

Inicia-se discutindo o modelo de educação que se deseja, e como o ambiente informatizado poderá contribuir em sua efetivação. Em seguida busca-se nas teorias sócio-cognitivas de Vygotsky a fundamentação teórica necessária para respaldar as ações aqui propostas.

### **2.2.1 Um modelo centrado na aprendizagem**

No paradigma educacional centrado no ensino, marcante na escola tradicional, o professor tem por função transmitir conhecimento de forma linear, compartimentado e acabado, tendo o aluno o papel de receptor passivo e a responsabilidade de aprender (CARRAHER, 1986).

Este modelo está sendo substituído por um novo paradigma: o paradigma construtivista, centrado na aprendizagem, no aluno e na construção do conhecimento.

Neste paradigma, compreende-se aluno como um ser ativo que gerencia sua própria aprendizagem: pensando, articulando idéias e construindo representações mentais na solução de problemas, constituindo-se no gerador de seu próprio conhecimento.

Entretanto, a maioria de nossas escolas ainda pratica uma abordagem tradicional. Essa abordagem considera o aluno como um objeto numa linha de montagem, no qual o conhecimento é depositado pronto e acabado, e sua única obrigação é, passivamente, digeri-los e reproduzi-los quando solicitado.

Segundo Valente (1999), a mudança que hoje opera na produção de bens e serviços, do paradigma da produção em massa, ditado por alguém que empurra a produção, para o da produção enxuta, puxada pelas necessidades do cliente, implicará em profundas mudanças no sistema educacional.

A educação deverá operar segundo este novo paradigma. Isso implicará em professores melhores qualificados, não para empurrar a informação ao aluno, mas para saber criar situações onde o aluno “puxa” a informação. O conhecimento deverá ser fruto do processamento dessa informação [...] Isso exigirá do aluno a compreensão do que está fazendo para saber tomar decisões, atuar e realizar tarefas (VALENTE, 1999, p.30).

Mudança de paradigma é algo que demanda tempo. Entretanto, é preciso agir, iniciando-se por estabelecer diálogos com os envolvidos no processo ensino-aprendizagem que os levem a buscar uma nova práxis pedagógica de forma a produzir ressignificações no ser, no fazer e no compreender.

Ao moldar um novo “ser professor” e um novo “ser aluno”, deve-se colocar em prática o que propõe Valente (1998) ao afirmar que no paradigma construtivista, a aprendizagem deve ser a prioridade, que o controle de seu processo esteja nas mãos do aprendiz, que por meio de seu engajamento intelectual participa do processo de construção do conhecimento, e que o professor compreenda que educação não é só a transmissão do conhecimento, mas sua construção pelo aluno.

Na esfera do “novo fazer” e do “novo compreender” propõe-se a criação de ambientes de aprendizagem que levem o aluno a realizar suas atividades e construir seu conhecimento de forma a transformá-lo num ser criativo, crítico, que amplifique sua capacidade de pensar, de aprender a aprender, de trabalhar em grupo, de fazer uso de tecnologias da informação e de cada vez mais desenvolver seu potencial cognitivo, afetivo e social, não de forma individual, mas como sujeito coletivo.

Para Lévy (1993), o desenvolvimento destes ambientes de aprendizagem é o resultado de uma nova ciência, “a ecologia cognitiva”, que trata do estudo das dimensões técnicas e coletivas da cognição, em que o “eu” dá lugar à coletividade e valoriza-se a interação social e o meio cultural: “Não sou ‘eu’ que sou inteligente, mas ‘eu’ com o grupo humano do qual sou membro, com minha língua, com toda uma herança de métodos e tecnologias intelectuais” (p.135). Reforçando a idéia de um ser coletivo, cita-se Freire (1981): “Conhecer que é sempre um processo, supõe uma situação dialógica. Não há, estritamente falando, um ‘eu penso’, mas um ‘nós pensamos’” (p. 71).

É possível que este seja o caminho para um fazer pedagógico mais próximo do aluno que do professor, mais próximo da aprendizagem que do ensino, mais construtivista que tradicional.

O quadro a seguir (Quadro 2.1), fundamentado em Carraher (1986), complementa e auxilia na compreensão dos paradigmas tradicional e construtivista de educação que vêm sendo expostos, ao apresentar uma síntese e fazer um paralelo entre estes modelos e os elementos envolvidos no processo educacional.

	<b>TRADICIONAL</b>	<b>CONSTRUTIVISTA</b>
<b><u>CONHECIMENTO</u></b>	-É algo pronto e organizado em conteúdos com informações, coisas e fatos isolados.	-É uma representação mental, personalizada, ou seja, moldada à nossa maneira de representar, pensar e interpretar algo.
<b><u>ENSINO</u></b>	-Dá-se pela transmissão de informações e técnicas com ênfase maior nos fatos. -É centrado no professor.	-Correlaciona-se a aprendizagem (não se ensina quando ninguém aprende). -Tem por metodologia estimular o raciocínio, por meio da exploração e descoberta.
<b><u>APRENDIZAGEM</u></b>	-Dá-se por repetição das informações e seu armazenamento na memória. -Ênfase em respostas certas não incentivando o aluno a pensar e raciocinar.	-Dá-se pela oportunidade do ato de pensar e raciocinar e pelas descobertas realizadas pelo aluno. -É um processo prazeroso e autêntico.
<b><u>PROFESSOR</u></b>	-Gerenciador da aprendizagem do aluno e inibidor de sua capacidade intelectual, muitas vezes oferecendo respostas prontas. -Tem por responsabilidade ministrar aulas, pouco se importando se o aluno aprende ou não. -Tem antipatia para com os erros.	-Tem por função ajudar o aluno a fazer descobertas e aprender. -Seu sucesso como educador é avaliado em termos de seu sucesso com os alunos. -Tem prazer em discutir os erros e as idéias intuitivas do aprendiz, tratando-as como hipóteses.
<b><u>ALUNO</u></b>	-Vai para a escola para receber educação. -Não faz descobertas autênticas. -É culpado pelo fracasso escolar. -Tem a responsabilidade de aprender.	-Descobridor de seu próprio conhecimento. -Tem seu próprio modo de pensar, suas idéias são representações mentais. -Ser ativo que utiliza sua imaginação e bom senso para resolver problemas.
<b><u>MATERIAL DIDÁTICO</u></b>	-Limitam-se ao estilo exclusivamente expositivo e informativo. -Levam a uma sobrecarga na memória do aluno.	-Valorizam mapas mentais e buscam a reflexão. -Valorizam o lúdico.

**Quadro 2.1 – Síntese dos Modelos Tradicional e Construtivista**

Acompanhando a evolução tecnológica dos computadores e sua aplicação ao ensino, os modelos de educação com suas teorias de aprendizagem têm passado do paradigma tradicional/instrucionista para o paradigma construtivista/construcionista. O termo construcionismo, criado por Seymour Papert, é um neologismo do termo construtivismo de origens piagetiana e relaciona-se ao fato de atividades construtivistas de aprendizagem ocorrerem a partir do uso do computador, dando-lhe um novo sentido.

A seguir, fundamentado em Valente (1998) e Papert (1986, 1994), apresenta-se o Quadro 2.2, que sintetiza os modelos instrucionista e construcionista de educação.

	<b>INSTRUCIONISTA</b>	<b>CONSTRUCIONISTA</b>
<b><u>CONHECIMENTO</u></b>	-Adquirido por meio da instrução. -A única maneira de melhorar o conhecimento do aluno sobre determinado tópico é ensinar mais sobre aquele tópico.	-Ênfase na construção do conhecimento e não na instrução. -A busca do conhecimento específico que o aluno precisa é que o ajudará a obter mais conhecimento.
<b><u>ENSINO</u></b>	-Dá-se no sentido: Computador-Software-Aluno. -Por meio do computador o aluno é instruído e pode adquirir conceitos sobre qualquer área.	-Dá-se no sentido: Aluno-Software-Computador. -Tem por objetivo ensinar de forma a obter a maior aprendizagem com um mínimo de ensino.
<b><u>APRENDIZAGEM</u></b>	-Aprendizagem centrada no ensino.  -O computador comanda a aprendizagem do aluno.  -A via que conduz a uma melhor aprendizagem é o aperfeiçoamento da instrução.	-Centra-se na aprendizagem e não no ensino. -A aprendizagem ocorre em razão do aluno estar executando uma tarefa mediada pelo computador. -O aluno gerencia seu próprio processo de aprendizagem. -Visa a desenvolver a capacidade matemática <sup>5</sup> .
<b><u>PROFESSOR</u></b>	-Repassador do conhecimento e instruções. -Tem o papel de especialista de conteúdos.	-Criador de ambientes de aprendizagem. -Agente facilitador do processo de desenvolvimento cognitivo do aluno. -Mediador da interação aluno-computador. -Tem por função a investigação da estrutura mental do aluno.
<b><u>ALUNO</u></b>	-Receptor passivo do conhecimento.  -Consultor de instruções.	-Construtor de seu próprio conhecimento. -Gerenciador da informação, da solução de problemas e da aprendizagem independente.
<b><u>O USO DO COMPUTADOR</u></b>	-Máquina de ensinar (instrução programada). -Informatização dos métodos de ensino tradicionais. -É introduzido na Escola como disciplina curricular, é o aprender sobre computadores.	-Ferramenta intelectual para promover a aprendizagem. -Meio de transferência do controle do processo de ensino do professor para o aluno. -Veículo auxiliar no processo de expressão de nosso pensamento e da reflexão.

**Quadro 2.2** - Síntese dos Modelos Instrucionista e Construcionista

Ao comparar modelo tradicional (Quadro 2.1) e instrucionista (Quadro 2.2) não se notam diferenças: percebe-se em relação a CONHECIMENTO que se mantém a linha enciclopédica que valoriza o volume de conteúdo; O ENSINO é caracterizado pela centralização e transmissão de informações; A APRENDIZAGEM ocorre de forma mecânica com ênfase na fixação pela repetição; O PROFESSOR caracteriza-se pela centralização do saber e o administra ao receptor, ALUNO, que age como ser passivo; A utilização do computador ou de livros reflete uma linha que prioriza a instrução e a memorização.

<sup>5</sup> Matemática é o conjunto de princípios norteadores que regem a aprendizagem (PAPERT, 1986, p.74).



Nos modelos construtivista (Quadro 2.1) e construcionista (Quadro 2.2), embora Valente (1998) assegure que é a presença do computador como ferramenta que faz a diferença entre eles, também não se notam diferenças significativas ao se comparar suas características em relação a: CONHECIMENTO, que é algo fluido, moldado ao aluno, à sua necessidade e colocado em seus termos; O ENSINO construtivo cede a vez para a APRENDIZAGEM como ato de prazer e descobertas; O PROFESSOR é o agente de mediação e motivação da aprendizagem, enquanto que o ALUNO caracteriza-se por ser ativo no processo de apreensão e de geração do conhecimento, tornando-se autor de sua própria aprendizagem. Entretanto, O USO DO COMPUTADOR como ferramenta intelectual e meio auxiliar do processo ensino-aprendizagem reserva potencialidades que vão além do MATERIAL DIDÁTICO da linha construtivista, que, na tentativa de se superar, busca trabalhar materiais reflexivos e dinâmicos.

Para adequar-se ao paradigma construtivista/construcionista, cujo foco é o aluno, a aprendizagem e a construção do conhecimento, propõe-se a transformação da sala de aula em um ambiente interativo de aprendizagem, como cenário das interações sociais necessárias ao desenvolvimento cognitivo, em que professores e alunos venham a fazer do software educativo o instrumento auxiliar de mediação destas interações e o elo entre conhecimento e aprendizagem. Esse paradigma identifica-se com a proposta pedagógica de Vygotsky, que será abordada a seguir.

### **2.2.2 O referencial vygotskiano como modelo pedagógico**

Para fazer do software educativo um ambiente construtivista de aprendizagem moldado ao modelo construtivista/construcionista de educação, associa-se à interação social aluno/professor e aluno/aluno, o auxílio dos meios informáticos, interatividade aluno/computador, como instrumentos de mediação do desenvolvimento cognitivo, assumindo assim, papel de fundamental importância no processo de aprendizagem.

Segundo Vygotsky, a ação do aluno sobre o objeto do conhecimento tem como resultado uma interação que certamente envolve não só aspectos biológicos, mas que requerem o estabelecimento de vínculos com o meio cultural e social de seu entorno.

A imersão do aluno em um ambiente sociocultural constitui-se numa fonte que potencializa seu desenvolvimento, ao mesmo tempo em que organiza suas ações e dirige seu aprendizado no processo de apropriação dos objetos culturais desse meio (Vygotsky, 1998b).

Para Vygotsky (1998a), a interação social é a base das teorias relacionadas a desenvolvimento e aprendizado, cujo processo se dá pela internalização das atividades socialmente enraizadas e historicamente construídas. O processo de internalização dá-se de fora para dentro, ou seja, do nível social para o nível individual, da relação entre pessoas para o interior da pessoa, partindo primeiramente de um processo interpessoal (interpsicológico), para, em seguida, transformar-se em um processo intrapessoal (intrapsicológico).

Impelido por suas necessidades, o aluno, enquanto ser ativo, desenvolverá atividades ou ações no processo de apreensão dos objetos culturais que o rodeiam (interiorização), e para que isto se concretize é necessária a inclusão do outro, daí a importância da interação social, pois este outro contribui com sua experiência no uso desses objetos como instrumentos e produtos do ambiente cultural.

É nesta interação com o meio social de seu entorno que o aluno, fazendo uso da linguagem, desenvolve o pensamento, ou seja, o discurso exterior organiza o discurso interior, fundamental para o desenvolvimento cognitivo. Segundo Vygotsky: “[...] o desenvolvimento do pensamento é determinado pela linguagem, isto é, pelos instrumentos lingüísticos do pensamento e pela experiência sociocultural [...]” (1998b, p. 62).

Outro aspecto relevante nas teorias de Vygotsky é a mediação. O processo de mediação, através de instrumentos e signos, é fundamental para o desenvolvimento das funções psicológicas superiores. Para Vygotsky (1998a):

A função do instrumento é servir como um condutor da influência humana sobre o objeto da atividade; ele é orientado externamente; deve necessariamente levar a mudanças nos objetos. Constitui um meio pelo qual a atividade humana é dirigida para o controle e domínio da natureza. O signo, por outro lado, não modifica em nada o objeto da operação psicológica. Constitui um meio da atividade interna (p. 72-73).

A sinergia entre o conhecimento que se está construindo mediado pelo professor e pelos próprios colegas, sob o uso dos diversos instrumentos e signos lingüísticos, transformam a sala de aula num ambiente interativo.

É neste ambiente interativo onde se estabelecem as condições necessárias para que o aluno desenvolva suas funções psicológicas superiores, que estão ligadas à consciência, como: estabelecer relações, planejar, comparar, lembrar e imaginar, desta forma, amplificando sua capacidade cognitiva e socioafetiva, proporcionando-lhe o aprendizado.

O referencial teórico vygotskiano trata ainda da aprendizagem como algo que ocorre na zona de desenvolvimento proximal.

Zona de desenvolvimento proximal (**ZDP**) é a distância entre o nível de desenvolvimento real, ou seja, entre aquilo que já se realiza sozinho e domina, e o nível de desenvolvimento potencial, onde, com a ajuda do professor ou de um colega mais capaz, chega-se à compreensão do objeto em estudo.

A zona de desenvolvimento proximal define aquelas funções que ainda não amadureceram, mas que estão em processo de maturação, funções que amadurecerão, mas que estão presentemente em estado embrionário. [...] O nível de desenvolvimento real caracteriza o desenvolvimento mental retrospectivamente, enquanto a zona de desenvolvimento proximal caracteriza o desenvolvimento mental prospectivamente. (VYGOTSKY, 1998 a, p.113).

Adequando-se à teoria de Vygotsky, ao fazer uso do software educativo, deve-se procurar trabalhar na **ZDP**, guiando o aluno ao seu nível potencial de desenvolvimento cognitivo. A interação com o software educativo, que assume a função de instrumento da atividade mediada, através de suas metáforas, tem por fim dotar de significados e mediar a compreensão inicial do fenômeno físico abordado, e transformar-se-á, em momentos posteriores, em signos que auxiliarão na representação mental de modelos físico-matemáticos, necessários à compreensão e aprendizagem dos conceitos estudados.

Nesta perspectiva, espera-se que a aprendizagem se dê de forma construtivista, ou seja, que o aluno busque de forma pessoal o conhecimento, ao trilhar por um caminho que ele mesmo tenta construir, onde faz inferências, levanta hipóteses e tira suas conclusões de maneira independente, e/ou mesmo interagindo com outros colegas e professor na busca de uma autêntica aprendizagem.

Trata-se a seguir de dois fatores que, de certa forma, contribuem para um modelo construtivista de aprendizagem: A motivação e a intuição, visto que são aspectos que diretamente influenciam o aluno e determinam seu estado de prontidão frente a uma situação de aprendizagem.

### **2.2.3 Fatores determinantes para a aprendizagem.**

A motivação é endógena ao indivíduo, ou seja, manifesta-se de dentro para fora, mas ela pode ser aguçada por uma situação problema que gere interesse no aluno.

Os professores devem ser, antes de tudo, mediadores e agentes de motivação daquilo que se quer ensinar. Para ensinar algo a um aluno, este deve ter qualquer motivo para aprender. Conforme Arruda (2003), a essência da motivação dos estudantes para estudar Física está em passar do nível de conhecimento e habilidades que eles já possuem, nível real da **ZDP** ou conhecimento prévio, para um novo nível de conhecimento, habilidades e hábitos que lhes faltam ou nível potencial, bem como “de aprender a aplicar o conhecimento em soluções de tarefas teóricas e práticas em sua futura especialização” (p. 89), ou seja, ver significado naquilo que se aprendeu.

A assimilação dos conteúdos da Física por meio da ação de estudar só ocorre quando o estudante experimenta uma necessidade interna e uma motivação para tal assimilação, pois “As necessidades e o motivo de estudar orientam os estudantes a obter conhecimentos como resultados da própria atividade transformadora” (ARRUDA, 2003, p. 89).

Antes mesmo de iniciar os estudos sobre os conceitos de uma determinada matéria, pode-se fazer uso do software educativo para despertar no aluno a motivação, formar um referencial de significados, ser o elo entre abstração-contextualização, e até mesmo desafiar a lógica positivista de organização da ciência, em que a teoria precede a prática.

Um outro aspecto que leva à motivação é fazer o uso da linguagem, meio de cognição e veículo das interações sociais, que, ao auxiliar na constituição e expressão do conhecimento, estrutura e dá forma à linguagem interna, o pensamento. Para Vygotsky (1998 b, p.187): “O pensamento propriamente dito é

gerado pela motivação, isto é, por nossos desejos e necessidades, nossos interesses e emoções”. Associado aos nossos pensamentos está a intuição.

As intuições conduzem nosso pensamento a gerar novas idéias e podem nos proporcionar novos e surpreendentes atos de *insight* (Moraes, 1997).

Para Papert (1986), a intuição reveste-se de “idéias poderosas”, que povoam as mentes de nossos alunos, segundo ele: “[...] precisamos melhorar nossa intuição, depurá-la, mas a pressão sobre nós é para abandoná-la e em seu lugar confiar em equações” (p.175).

Papert (1986) cita as impressões de um aluno ao observar um giroscópio<sup>6</sup>. Para o aluno, sua intuição o faz pensar que o giroscópio deveria cair em vez de ficar em pé, mas a atitude do professor foi provar por meio de equações que ele fica em pé: “O que o aluno precisa é algo muito diferente: melhor compreensão de si mesmo, não do giroscópio. Ele deseja saber por que sua intuição gerou uma expectativa errada. Ele precisa saber como trabalhar suas intuições para mudá-las” (p. 175).

O conhecimento informal, prévio ou conceito espontâneo de nosso aprendiz, ou como cita Pozo (1998, p. 240): “pré-conceitos”, “idéias prévias” ou “concepções errôneas”, manifestado através de suas intuições, é um catalisador na construção do conhecimento científico.

Para Moraes (1997), na construção do conhecimento, o aprendiz colabora: “[...] não apenas com o uso predominante do raciocínio e da percepção do mundo exterior pelos sentidos, mas também usando as sensações, os sentimentos, as emoções e a intuição para aprender” (p. 88).

É esta ciência intuitiva, proveniente da relação empírica e natural do mundo que nos cerca, que modela os conceitos naturais do aluno, mediante suas concepções espontâneas. Segundo Pozo (1998): “Ensinar ciências não consiste em proporcionar conceitos aos alunos, mas em mudar os que eles já possuem” (p. 240).

As concepções espontâneas dos alunos, tendo em vista sua origem sociocultural, são muito persistentes e resistem às mudanças conceituais, principalmente se os conceitos científicos conflitam com elas. Somente através de estratégias didáticas bem concebidas poderão se transformar em conceitos cientificamente corretos.

---

<sup>6</sup> Corpo que gira em torno de um eixo de simetria mantendo invariável a direção desse eixo quando suspenso por ele, resistindo a qualquer tentativa de modificação de seu plano de rotação.

Ao iniciar estudos sobre Física Moderna, o aluno já traz consigo conceitos prévios de velocidade, espaço, tempo, massa e energia, fundamentados na mecânica de Newton. A função do software é auxiliar nessa transição conceitual, em que estes conceitos clássicos, tão arraigados, terão de sofrer mudanças e dar lugar aos novos conceitos advindos da Física Moderna.

É possível que, ao se trabalhar estes conhecimentos prévios, instigando a intuição, num processo de recursividade alimentado pelo ambiente virtual, além de contribuir em mudanças conceituais, possa-se levar ao desenvolvimento de competências metacognitivas, na medida em que os erros tratados como hipóteses vão oportunizando o aprender a aprender.

Este capítulo tratou da fundamentação teórica deste trabalho, e espera-se que o software educativo possa vir a ser uma solução viável para esta proposta de aprendizagem construtivista pautada por interação social, apresentando-se como instrumento de mediação e motivação que modelará as intuições de nosso aprendiz na construção dos conceitos de Física Moderna e Contemporânea - **FMC**.

No capítulo seguinte, faz-se uma abordagem sobre o ensino de **FMC**, propostas curriculares e analisam-se livros e softwares de Física na tentativa de balizar conteúdos a serem trabalhados no Ensino Médio.

### 3. ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Ensinar Física tem se revelado uma tarefa difícil. Do lado dos alunos, aprender Física também é um desafio. Este fato tem levado os atores do processo educacional a buscar caminhos para desmitificar o ensino de Física. Normas, orientações e diretrizes vêm sendo traçadas nas últimas décadas. Materiais didáticos, como livros, estão cada vez mais bem apresentados, e o uso de recursos multimídia interfaceado pelos computadores têm sinalizado uma via de motivação na busca da aprendizagem. É sobre estes temas que se trata a seguir.

#### 3.1 CONTRIBUIÇÕES E DIFICULDADES

As implementações das reformas educacionais definidas pela LDB (BRASIL, 1996) foram regulamentadas pelas Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio - **DCNEM** (BRASIL, 1998) e explicitam a articulação das competências gerais que se desejam promover nos alunos. Um de seus artigos prevê que o educando deve compreender o caráter aleatório e não determinístico dos fenômenos naturais, o que vai ao encontro do que preconiza a Física Moderna e Contemporânea - **FMC**.

Com enfoque na perspectiva interdisciplinar e contextualizada, de maneira a organizar os currículos, moldados em competências e habilidades que apontem para uma aprendizagem significativa, os Parâmetros Curriculares Nacionais - **PCN** (BRASIL, 1999) prevêem uma profunda reformulação do currículo de Física no Ensino Médio, com destaque à importância da **FMC**.

Porém, o documento mais importante foi lançado em 2002 como um complemento aos **PCN** (BRASIL, 1999), são os **PCNs+** (BRASIL, 2002). Este documento visa implementar as reformas educacionais até então propostas ao articular as competências gerais que se desejam promover.

Antes se desejava transmitir conhecimentos disciplinares padronizados, na forma de informações e procedimentos estanques; agora se deseja promover competências gerais, que articulem conhecimentos, sejam estes disciplinares ou não (BRASIL, 2002, p.11).

Os **PCNs+** (BRASIL, 2002) são enfáticos ao lidarem com a ciência contemporânea e reforçam que o educando deve reconhecer, acompanhar e avaliar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, bem como consultar e interpretar textos e comunicações de ciência e tecnologia veiculadas por diferentes meios, compreender a evolução dos modelos físicos sem dogmatismo ou certezas definitivas, adquirir uma visão cósmica do Universo, das teorias relativas ao seu surgimento e sua evolução.

A nova escola de Ensino Médio não há de ser mais um prédio, mas um projeto de realização humana, recíproca e dinâmica, de alunos e professores ativos e comprometidos, em que o aprendizado esteja próximo das questões reais [...] (BRASIL, 2002, p.11).

Ao invés de conteúdos gradeados, os **PCNs+** (BRASIL, 2002) propõem seis temas estruturadores, que são uma possível forma de organizar o ensino da Física dentro das habilidades e competências, são eles: Movimentos: variações e conservações; Calor, ambiente e usos de energia; Som, imagem e informação; Equipamentos elétricos e telecomunicações e aqueles relacionados a **FMC**: Matéria e Radiação; Universo, Terra e Vida.

O tema Matéria e Radiação sinaliza que o aprendiz venha a ser capaz de organizar as competências relacionadas à compreensão do mundo material microscópico: constituição da matéria e seus atuais modelos povoados de partículas, novos materiais presentes nos utensílios tecnológicos e radiação e seus diferentes usos.

O tema Universo, Terra e Vida está voltado para uma compreensão de natureza cosmológica da Terra, do Sistema Solar e a origem e evolução do Universo. Preocupa-se com os modelos explicativos do universo e sua evolução, desde as partículas elementares às estrelas e galáxias, passando pelos tipos de forças de interação que agem na constituição da matéria. Este tema tenta responder os enigmas da vida e do universo: De onde viemos? Para onde vamos? Questionamentos freqüentes nas mentes de nossos jovens.

Entretanto, vários entraves têm surgido à implementação das propostas sugeridas por estes documentos. Ricardo (2003) aponta a falta de espaço na escola para uma ampla discussão e construção de seu projeto político-pedagógico de forma coletiva e a própria incompreensão por parte dos professores que não os leram, nem



discutiram, tendo em vista a estrutura atual de hierarquia verticalizada da escola. Acena ainda para a dimensão da reforma pretendida e a necessidade de se rever práticas educacionais correntes em sala de aula. Por fim, reforça o convite para que todos os professores sejam protagonizadores desta reforma, em vez de meros executores de programas impostos.

Dando sua parcela de contribuição, a Sociedade Brasileira de Física – **SBF** – vem, desde o ano de 2002, demonstrando sua preocupação em inserir a **FMC** no ensino médio. Para tanto, tem motivado os interessados a contribuírem com artigos direcionados à área para serem publicados em suas revistas.

Tal preocupação levou a **SBF**, em 2003, a iniciar a organização de uma série de livros dirigidos a professores de Física do ensino médio que abordem a **FMC**. Seus primeiros exemplares foram lançados no XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física - **SNEF**, realizado no Rio de Janeiro no período de 24 a 28 de janeiro de 2005, como parte das comemorações de abertura, no Brasil, do Ano Mundial da Física (**AMF2005**), instituído por resolução da Organização das Nações Unidas – **ONU**.

Um dos principais objetivos do Ano Mundial da Física é chamar a atenção do público em geral, mas especialmente dos jovens, para a importância e o impacto da física no mundo contemporâneo. Tal impacto abrange não só as aplicações práticas fundamentais que decorreram de avanços teóricos e experimentais da física, mas também as contribuições da física para a construção da nossa visão do mundo e suas inter-relações com as outras áreas do conhecimento. Os aspectos culturais e humanísticos da física deverão ser também destacados (AMF2005).

Ainda em 2003, a diretoria da **SBF** nomeia uma comissão para elaborar o projeto FÍSICA PARA O BRASIL, cujo objetivo prospectivo é traçar metas para o desenvolvimento da Física e do Ensino de Física para o próximo decênio 2005 - 2015. E faz o apelo para o engajamento de “todos os profissionais da física” (RBEF, 2003, p. 258).

O resultado deste trabalho, na forma de livro, também lançado no XVI SNEF, aponta os problemas, desafios e faz recomendações para a Física no Brasil nas mais diversas áreas. Ao referir-se à formação de professores nos cursos de Licenciatura de Física, cuja prioridade tem sido as disciplinas de Física Clássica, cita:

[...] a desconsideração da física moderna e contemporânea é muito grave, já que os professores formados para o ensino médio não estão preparados para mostrar essa disciplina como algo interessante e cuja validade de conteúdo é digna de consideração. Esse quadro exige mudanças, caso contrário a física poderá cair numa relativa marginalização (CHAVES; SHELLARD, 2005, p.223).

Este quadro indica que os currículos dos cursos de licenciatura em Física precisam ser reformulados e “conter mais física moderna e contemporânea” (CHAVES; SHELLARD, 2005, p. 13), fator imprescindível na formação do futuro professor, que trabalhará com **FMC** no ensino médio.

No trabalho de complementação acadêmica, destacam-se iniciativas como as das professoras Flávia Rezende e Susana Barros, professoras da UFRJ, que propõem uma formação continuada e a distância de professores de Física por meio do ambiente virtual **InterAge**<sup>7</sup>. Neste ambiente são propostas situações-problemas, entre elas destaca-se: Introdução de Física Moderna e Contemporânea no Currículo, onde são disponibilizados vários recursos, como textos com conteúdos pedagógicos ou específicos, vídeos e softwares para auxiliar o professor na abordagem da situação-problema. O programa disponibiliza cursos com tutores-orientadores, cuja interação com o professor dá-se via e-mail, fóruns de discussão e/ou *chats*, e também são conferidos certificados.

De alguma forma, as Universidades, principalmente as públicas, têm contribuído para a inserção de **FMC** nos currículos do Ensino Médio, quando passaram a exigí-la em seus vestibulares. Por um lado, isto revela o engessamento e o direcionamento que causa esta modalidade de acesso ao Ensino Superior em nosso país, mas por outro, força que tópicos de **FMC** sejam trabalhados em sala de aula.

Apesar de toda esta mobilização, a intenção de introduzir a **FMC** ainda permanece no imaginário dos professores e está longe de ser concretizada, principalmente na escola pública (RBEF, 2003).

### 3.2 UMA NOVA PROPOSTA CURRICULAR

Antecipando-se às reformas educacionais sugeridas pela LDB (BRASIL, 1996), PCNs (BRASIL, 1999) e PCNS+(BRASIL, 2002), uma série de trabalhos

---

<sup>7</sup> Disponível em: <<http://nutes2.nutes.ufrj.br/interage/>>; Acessado em: 10 out. 2004.

expõem a necessidade de introdução da **FMC** como parte de uma nova matriz curricular para o Ensino Médio (FERREIRA, 1990; TERRAZZAN, 1994; SILVA, 1994; COELHO, 1995 e CAMARGO, 1996). A seguir, faz-se um breve comentário destes trabalhos, mas sem a preocupação de seu detalhamento, face este trabalho concentrar-se mais no que ocorreu a partir do início do novo século.

Ferreira (1990) toma os conceitos da Física como os balizadores da visão de mundo dos homens de cada época e a crise como parte integrante da mudança, faz uma reflexão crítica da educação brasileira e vê a Física Moderna, através de uma nova concepção de universo que apresenta, como doadora de possibilidades de um novo currículo, voltado para o ser humano e para a ecologia.

Terrazzan (1994) defende e discute a inclusão de tópicos de Física Moderna entre os conteúdos curriculares da escola média no Brasil, tendo em vista o panorama sociocultural e produtivo do final do século passado, numa perspectiva de contemplar a necessidade da formação contemporânea da cidadania. Analisa propostas e iniciativas de maior abrangência curricular para a Física no ensino médio, assim como abordagens metodológicas específicas para um primeiro aprendizado da Física do século XX.

Silva (1994) defende a introdução de conceitos de Física Moderna e Contemporânea no curso secundário. Em sua dissertação são discutidos os paradoxos que colocaram a Física Clássica em dificuldades e aborda tópicos até a explicação do efeito fotoelétrico. Apresenta uma metodologia em que o processo de ensino-aprendizagem dá-se na interação professor-aluno por meio de um aparelho experimental por ele desenvolvido.

Coelho (1995) faz uma investigação sobre a capacidade intelectual do estudante de nível médio de entender assuntos referentes ao mundo quântico e da possibilidade de se introduzir nos currículos escolares a mecânica quântica nos cursos secundários.

Camargo (1996) investiga obstáculos e possibilidades de inserção da Física Moderna no antigo 2º grau. Parte para uma pesquisa qualitativa de cunho etnográfico, a partir de uma consulta a professores de sua região, com relação a sua prática didático-pedagógica e suas reflexões sobre o tema em foco.

Ostermann (2000) faz uma completa revisão da literatura sobre **FMC** a partir de publicações em revistas científicas, os mais variados livros nacionais e internacionais, teses e dissertações que abordam o tema. Por fim conclui com uma

proposta de atualização curricular que inclui os seguintes tópicos, ao que ele chama de “lista consensual” ou “lista final”:

[...] efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, Big Bang, estrutura molecular, fibras ópticas.

A partir do ano 2000, autores e editoras nacionais parecem ter acordado e engrossaram a lista de livros didáticos de Física para o ensino médio que fazem referências aos tópicos de **FMC**, ou incluem-nos como capítulos.

A seguir, faz-se uma análise de livros didáticos de Física no intuito de balizar os tópicos a serem abordados em um software educativo para o ensino de **FMC**.

### 3.3 LIVROS DIDÁTICOS E A FMC

Apresenta-se abaixo um comparativo entre alguns livros hoje dispostos no mercado. Os critérios utilizados foram: conteúdos apresentados relativos à **FMC** e/ou Física Clássica e temas estruturadores sugeridos nos PCNs+(BRASIL, 2002).

Foram analisados tão somente livros de Física destinados ao ensino médio de escolas brasileiras que abordam temas de **FMC** lançados a partir do ano 2000. Conforme os critérios de conteúdos, os livros foram classificados em:

- **Específicos de FMC:** Livros destinados exclusivamente a **FMC** e dirigidos ao ensino médio: Chesman, André e Macêdo (2001), Braz Junior e Martins (2002), Souza (2002) e Tavoraro e Cavalcante (2003).
- **Física Geral:** Livros na forma de coleção ou volumes únicos contendo Física Clássica e **FMC**: Alvarenga e Máximo (2000), Biscuola, Boas e Doca (2001), Gaspar (2000), Torres et al. (2001), Sampaio e Calçada (2001), Carron e Guimarães (2002), Cabral e Lago (2002), Ferraro e Soares (2003), Ramalho Jr., Ferraro e Soares (2003), Sampaio e Calçada (2003).
- **Não trazem FMC:** Livros na forma de coleção ou volumes únicos que não trazem capítulos de **FMC**: Chiquetto (2000), Guimarães e Boa (2004), Paraná (2003), Luz e Álvares (2003).

Na categoria **Física Geral**, ainda há uma valorização demasiada à Física Clássica. Nestes livros, **FMC** é apresentada em capítulos finais, ou como tópicos extras. Alvarenga e Máximo (2000), ao recomendar o estudo dos tópicos de **FMC** contidos em sua obra, afirma que: “[...] só deverão ser incluídos na programação do curso se o professor estiver seguro de que não serão sacrificados tópicos fundamentais da Física Clássica, ou de maior interesse para o estudante” (p. 368).

Na lista de livros acima figuram os volumes únicos: Chiquetto (2000), Paraná (2003), Luz e Álvares (2003), que são adotados principalmente em escolas públicas. Por serem livros baratos, são compactos, superficiais e geralmente não contemplam **FMC**, ou o fazem de forma muito sucinta. Este fato revela o despreparo dos professores que temem adotar um livro que possa conter assuntos que ele não domine, bem como priva nosso aluno do acesso à informação de qualidade e ao conhecimento.

Uma outra classificação (Quadro 3.1) lista os livros que trazem **FMC** com relação aos temas estruturadores propostos pelos PCNs+(BRASIL, 2002).

	LIVROS	MATÉRIA E RADIAÇÃO	UNIVERSO, TERRA E VIDA
01	Alvarenga e Máximo (2000)	√	√
02	Gaspar (2000)	√	
03	Biscuola, Boas e Doca (2000)	√	
04	Torres et al.(2001)	√	√
05	Chesman, André e Macêdo (2001)	√	
06	Sampaio e Calçada (2001)	√	
07	Carron e Guimarães (2002)	√	√
08	Braz Junior e Martins (2002)	√	√
09	Souza (2002)	√	√
10	Cabral e Lago (2002)	√	√
11	Ferraro e Soares (2003)	√	
12	Ramalho Jr., Ferraro e Soares (2003)	√	√
13	Sampaio e Calçada (2003)	√	
14	Tavolaro e Cavalcante (2003)	√	

**Quadro 3.1** – Livros de Física e Temas Estruturadores dos PCN+

Em relação ao tema UNIVERSO, TERRA E VIDA, os livros listados restringem-se a conter pequenos textos sobre cosmologia, apresentados em tópicos especiais ou figurando nas últimas páginas dos capítulos.

Entretanto, Braz Junior e Martins (2002) constitui a exceção, pois ao apresentar o capítulo cosmologia, fá-lo de forma a despertar a curiosidade pela seqüência dos assuntos, pela diagramação das páginas com muitas fotos e cores e, principalmente, por sua metodologia de questionar constantemente o que motiva o leitor a buscar respostas. Na abertura desta parte de seu livro ele comenta:

Agora, neste capítulo de física moderna, vamos partir do nosso sistema planetário e tentar ampliar nossos horizontes, respondendo questões do tipo: “Como o universo está organizado?”; “O universo é igual em todos os lugares?”; “O universo é finito ou infinito?”; “As galáxias se movem ou estão paradas?”; “Quantas estrelas há numa galáxia?” (BRAZ JUNIOR; MARTINS, 2002, p. 72).

Em relação ao tema MATÉRIA E RADIAÇÃO, são mais abordados os assuntos: Relatividade restrita, radiação do corpo negro e a hipótese de Planck, efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, dualidade onda-partícula, Princípio da incerteza, Física nuclear e das partículas. Teoria do caos está presente em Alvarenga e Máximo (2000) e em Souza (2002). A equação de Schrödinger aparece em Souza (2002) e em Tavoraro e Cavalcante (2003).

Apresenta-se abaixo uma resenha dos livros-textos acima citados que merecem destaque.

Braz Junior e Martins (2002), publicado como paradidático, além de fazer a melhor abordagem em cosmologia, destaca-se também ao apresentar a Relatividade restrita comparando-a com a Relatividade geral. Em Física quântica trata da Física das partículas e apresenta o Modelo-Padrão das partículas elementares de forma muito didática. Ao final do livro são apresentados vários exercícios para reforçar a aprendizagem.

Alvarenga e Máximo (2000) trata **FMC** em “tópicos especiais”, desde o primeiro volume de sua obra, o que já se constitui em uma proposta a ser seguida. E detém-se no final do terceiro volume num apêndice intitulado “A Nova Física”, em que aborda: O mundo do muito pequeno, fazendo referências às partículas elementares; O mundo do muito grande, em que trata de cosmologia; O mundo das

estruturas complexas, que trata do comportamento caótico da natureza. A autora, por fim, formula vinte questões abordando conceitos de Física Moderna.

Ostermann (2000), ao analisar o livro acima citado, comenta:

É possível observar, nesta obra, um grande esforço para inserir temas mais modernos de Física nos currículos das escolas. Apesar de serem tratados, já no 1º volume [...] aparecem, em geral, como “tópicos especiais”, ao final dos capítulos [...] isto acarreta sua exclusão devido à prioridade que sempre se tem dado aos assuntos clássicos.

Gaspar (2000), comparado aos demais livros aqui apresentados, apresenta uma das mais densas abordagens de Física Moderna para o ensino médio em relação ao tema **MATÉRIA E RADIAÇÃO**, mas negligencia o tema **UNIVERSO, TERRA E VIDA**. O material do livro assemelha-se à disposição de hipertextos, pois em cada página aparecem várias janelas, como se fossem links, com tópicos complementares e notas relativas à história, tecnologia, aprofundamento, feira de ciências, gramática da física entre outros.

Neste livro, **FMC** está distribuída em capítulos, todos com muitas atividades propostas. Os primeiros são: **Das ondas eletromagnéticas aos fótons** - Equações de Maxwell e ondas eletromagnéticas, Dualidade onda-partícula, Efeito fotoelétrico; e **Relatividade restrita**, com noções de teoria da relatividade geral.

Os capítulos seguintes foram baseados no livro: **Dos raios X aos quarks**, de Emílio Segrè, Nobel de Física de 1959, e apresentam-se divididos em duas partes: **dos raios X aos quarks I** - Os raios X e a radioatividade, Radiação do corpo negro, O quantum de ação – Planck, O átomo de Rutherford, O espectro do átomo de hidrogênio, O átomo de Bohr, Difração de raios X; e **dos raios X aos quarks II** - O spin do elétron, Princípio da exclusão de Pauli, Ondas de matéria: De Broglie, Um pouco de mecânica quântica, O princípio da incerteza, O nêutron e o pósitron, O neutrino, O novo modelo atômico e o núcleo, Energia nuclear, Física das partículas.

Torres et al. (2001) sobressai-se por apresentar muitas questões e leituras que visam, principalmente, contextualizações e aplicações tecnológicas. Em sua última unidade, aborda os capítulos: **Relatividade especial** – com noções de relatividade geral; **Física Quântica** - A radiação dos corpos e a teoria quântica de Planck, Efeito fotoelétrico, Modelo atômico de Bohr, O átomo de hidrogênio, A dualidade onda-partícula, O princípio da incerteza; **Física Nuclear** - O núcleo atômico, Radioatividade, Lixo nuclear e acidentes nucleares, dentro deste capítulo

encontram-se ainda: Um pouco da evolução estelar, Um pouco de cosmologia, As forças fundamentais da natureza, Partículas fundamentais da matéria-antimatéria.

Cabral e Lago (2002) aborda, em sua última unidade, o tema “Interação da Radiação com a Matéria” e divide-o em dois capítulos: o primeiro trata das “Ondas Eletromagnéticas” e aplicações e é um dos poucos a citar o padre brasileiro Landell de Moura e seu trabalho na transmissão de ondas de rádio sem fio; o segundo intitulado “Física Moderna e Física Atual”, aborda: O Surgimento da Teoria Quântica; O Efeito Fotoelétrico; O Espectro dos Elementos; Orbitais e a Teoria Quântica, em que trata do átomo de Bohr e da dualidade onda-partícula; e Teoria da Relatividade. Apresenta contextualizações na seção “Isto tem utilidade”. Traz notas destacadas em quadro sob o nome “Atenção” e/ou “Lembre-se”. A cosmologia é contemplada no “Tópico Especial – O Nosso Universo” e a seção “Tópicos Avançados” trata do Radar e do Laser. Para completar, a seção “Testando a Física” mostra como construir um espectrômetro usando um CD e papelão.

Tavolaro e Cavalcante (2003) aborda física moderna experimental numa metodologia de oficinas com linguagem acessível e com tópicos que embasam essas experiências, sugere o uso de softwares de simulação e/ou applets disponíveis na Internet. Por fim traz um apêndice onde faz a determinação da constante de Planck.

Toda esta descrição de material impresso, que ainda se constitui na ferramenta de pesquisa mais acessada por professores e alunos, tem como meta mapear conteúdos de **FMC** que mais merecem destaque para serem trabalhados no ensino médio.

Partindo para uma análise dos tópicos apresentados por cada livro no sentido de identificar o que há de comum entre eles, verifica-se uma convergência para os temas: Relatividade restrita, radiação do corpo negro e a hipótese de Planck, efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, dualidade onda-partícula, princípio da incerteza de Heisenberg, Física nuclear e das partículas, forças fundamentais da natureza e constituição do universo.

Critica-se o fato destes temas serem abordados somente ao final dos livros, quando de volume único, ou ao final do último volume, quando se trata de uma coleção. Sugere-se que estes tópicos sejam trabalhados paulatinamente, à medida que se vivencia a Física Clássica, desde as primeiras séries do ensino de Física no nível médio.



Na próxima seção, faz-se uma análise de materiais que usam a tecnologia informática e/ou telemática.

### 3.4 SOFTWARES DE FÍSICA

Apresentam-se a seguir softwares de Física disponíveis no mercado e/ou *online* com suas características e tipologia (Quadro 3.2).

Relacionados à Física, encontram-se softwares e/ou objetos de aprendizagem de todos os tipos: Tutoriais e/ou Livros Digitais (TLD), Exercício e Prática (EP), Jogos (JG) e os de Simulação (SM) e Modelagem (MD).

Quanto à licença de uso, há softwares educacionais: *shareware*, *demo*, comerciais e os *freeware*.

*Shareware* são softwares veiculados na *Web* de forma completa e podem ser temporariamente avaliados antes de comprados. *Demo* constituem uma versão limitada de programas comerciais que podem operar por tempo limitado ou não. Comerciais são softwares de licença paga e *freeware* são aqueles, que além de serem distribuídos gratuitamente na rede Internet, não expiram o prazo de validade para utilização.

Com relação aos conteúdos abordados, foram classificados em: contém Física Clássica (FC) e/ou Física Moderna (FM).

Software	Tipo	Download/Acesso	Conteúdo	Licença
Interactive	MD/SM	<a href="http://interactivephysics.com/">http://interactivephysics.com/</a>	FC/FM	<i>Demo/Pago</i>
Modellus	MD/SM	<a href="http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/">http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/</a>	FC/FM	<i>Free</i>
Prometeus	SM	<a href="http://www.dfi.ccet.ufms.br">http://www.dfi.ccet.ufms.br</a>	FC	<i>Free</i>
Fisilab	SM	<a href="http://www.itpsoft.com/home/index.php">www.itpsoft.com/home/index.php</a>	FC	Pago
Crocodile	SM	<a href="http://www.crocodile-clips.com">www.crocodile-clips.com</a>	FC	<i>Demo/Pago</i>
Interage	SM/JG	<a href="http://www.scite.pro.br/principal.php">www.scite.pro.br/principal.php</a>	FC/FM	<i>Share/Pago</i>
Educandus	TLD/EP/SM	<a href="http://www.educandus.com.br">www.educandus.com.br</a>	FC	Pago
Água-Marinha	TLD/EP/SM	<a href="http://www.aguamarinha.com.br">www.aguamarinha.com.br</a>	FC/FM	Pago
VEST 21	TLD/EP	<a href="http://www.extensao.hpg.com.br">www.extensao.hpg.com.br</a>	FC	<i>Share</i>
Física Total	TLD/EP	<a href="http://viasystem.com.br/index.html">http://viasystem.com.br/index.html</a>	FC	<i>Demo/Pago</i>

**Quadro 3.2** – Softwares de Física

O Interactive Physics da MSC Software é fruto de vários anos de pesquisa entre professores de Física e engenheiros de softwares. É uma ferramenta de construção usada tanto no ensino médio como no ensino superior na criação de modelos físicos e matemáticos e/ou simulações, permitindo abordar vários conteúdos da Física e da Matemática. Está disponível em várias línguas, inclusive o português.

Seguindo a mesma linha de simulação e modelagem, há o aplicativo Modellus, desenvolvido por Vitor Teodoro, da Universidade Nova de Lisboa/Portugal. Além de ser gratuito, é uma ferramenta de fácil utilização que não exige muita destreza e conhecimentos de programação. Foi concebido para modelagem computacional em Matemática e Ciências.

O Prometeus, desenvolvido na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, é um programa de simulação, que através de quatro situações-problema aborda conteúdos de mecânica.

O FisiLab é também um software de simulação, que com seus treze objetos de aprendizagem direcionados às áreas da Física Clássica, coloca-se como um complemento do laboratório tradicional de Física. Foi desenvolvido pela ITP Software Ltd de Israel e apresenta a versão *online*, E-FisiLab, que dispensa o CD, porém só é possível acesso via registro de licença de autorização. A empresa ainda oferece um CD com tópicos gerais de Física Clássica, Física Moderna, Física Nuclear e Radioatividade, incluindo exemplos e exercícios.

Um outro software de simulação é o *Crocodile Physics*, que apresenta mais de 100 atividades e numerosos exemplos experimentais. Além de permitir criar sua própria simulação, atua nas áreas de eletricidade, eletrônica, óptica, mecânica, oscilações e sons. Sua licença *demo* é válida por apenas duas horas.

O Interage é um laboratório virtual de Física que apresenta em quatro CDs 36 objetos de aprendizagem com características de simulações e/ou jogos. Tem interface agradável e lúdica, que busca a interatividade e pode conduzir a um aprendizado da Física, em que o rigor científico se mistura ao prazer da diversão. Concentra-se em Física Clássica, indo da mecânica ao eletromagnetismo. Entretanto, apresenta um único tópico de **FMC**, a simulação do Movimento Browniano, fenômeno devidamente explicado por Einstein em um de seus artigos, publicado em 1905, que se constitui uma referência na mecânica estatística.

O Educandus é um software comercial usado por mais de 500 escolas particulares e 2000 escolas públicas brasileiras de ensino médio<sup>8</sup>. É um livro digital multimídia com teorias e exercícios, no qual as páginas rolam ao clique do mouse. Procura motivar o aluno através de vários recursos de mídias tais como: animações, simulações, gráficos, fotos, sons e vídeos. Limita-se à Física Clássica.

Semelhante ao anterior, o software Água-Marinha, produzido pela Água-Marinha Mídia Educacional, traz em seus livros digitais: laboratórios virtuais, simuladores de exercícios, hipertextos e as mais variadas formas de mídias. Além de contemplar Física Clássica insere, de forma muito sucinta, **FMC**.

O VEST 21 MECÂNICA é um livro eletrônico que inclui ferramentas para resolução de problemas e para construção de gráficos. São 22 lições exclusivamente de mecânica com resumos teóricos e testes animados. Está disponível para *download* com licença *shareware*, entretanto, para professores da rede pública a licença é *freeware*.

O Física Total, da Via System–Soluções Tecnológicas, divide os conteúdos de Física Clássica didaticamente em seis blocos, disponibilizando para *download* apenas o primeiro deles, que corresponde à cinemática. É um software tutorial não muito atrativo, que se limita a apresentar teorias e exercícios sem muita profundidade numa interface de fundo preto, em que palavras e fórmulas vão aparecendo ao clicar o mouse, enquadra-se bem como máquina de ensinar de Skinner.

Percebe-se no Quadro 3.2 uma valorização excessiva à Física Clássica, tanto para softwares, através dos quais é possível criar uma simulação própria, como no *Interactive Physics* ou no *Modellus*, fato evidenciado através de seus exemplos em que a prioridade são tópicos clássicos, bem como naqueles que ensaiam apresentar **FMC**. O Água-Marinha, restrito a determinada clientela, por ser pago, traz um pequeno encarte de teorias e exercícios em seu livro digital ao final do CD da 3ª série do ensino médio. O Interage, cuja metodologia de jogos e simulação enquadra-se bem com a proposta que se pretende apresentar neste trabalho, restringe-se apenas a uma atividade, a simulação do Movimento Browniano, contemporâneo ao surgimento da Física Moderna.

---

<sup>8</sup> Informativo Educandus. Ano I. Junho/Julho/Agosto de 2004

Esta análise deixa evidente a necessidade de se desenvolver mais produtos educacionais informatizados voltados para a área de **FMC**.

Tomam-se agora dois softwares, dentre os citados no Quadro 3.2, e procura-se comparar suas abordagens acerca do Movimento Browniano.

### 3.4.1 Softwares sobre o Movimento Browniano

O Movimento Browniano, observado pela primeira vez pelo botânico Robert Brown em 1827, consiste no movimento aleatório de uma partícula ou pólen suspenso em um fluido devido aos choques com moléculas do mesmo. No início do século XX, Einstein valeu-se deste fenômeno para calcular o número de Avogadro e provar a existência irrefutável das moléculas. O trabalho, publicado em 1905, intitulava-se: “Sobre o movimento de partículas suspensas em um fluido em repouso”.

Os softwares selecionados são o *Modellus* e um dos objetos de aprendizagem do Interage.

No *Modellus* (Figura 3.1), para se produzir uma simulação, deve-se fazer antes a modelagem matemática com o uso de equações apropriadas e o conhecimento da sintaxe do programa, que pode ser consultado em seu tutorial.

A resposta apresentada limita-se a rabiscar uma trajetória aleatória em sua janela de animações, como resultado do movimento desordenado da partícula que colide com as moléculas do fluido. Devido a sua complexidade, o modelo matemático, que define uma curva contínua sem derivada em ponto algum de seu domínio, que modela o Movimento Browniano, não é abordado no nível médio. Não será fácil, portanto, tentar produzir um modelo em que apareçam as moléculas do fluido colidindo com a partícula, pois se o objetivo da atividade proposta for estudar o Movimento Browniano, a modelagem matemática, sem desmerecê-la, pode ser colocada em segundo plano em virtude do fator tempo.

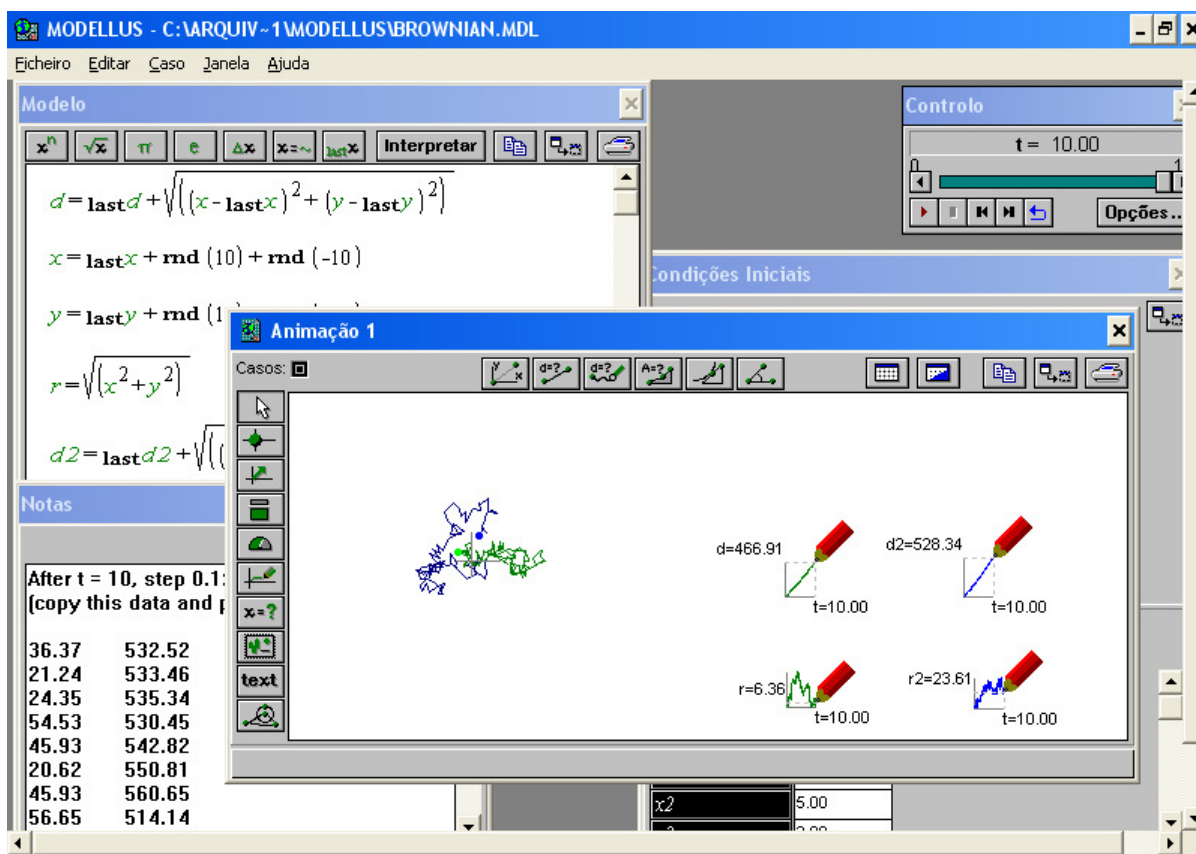
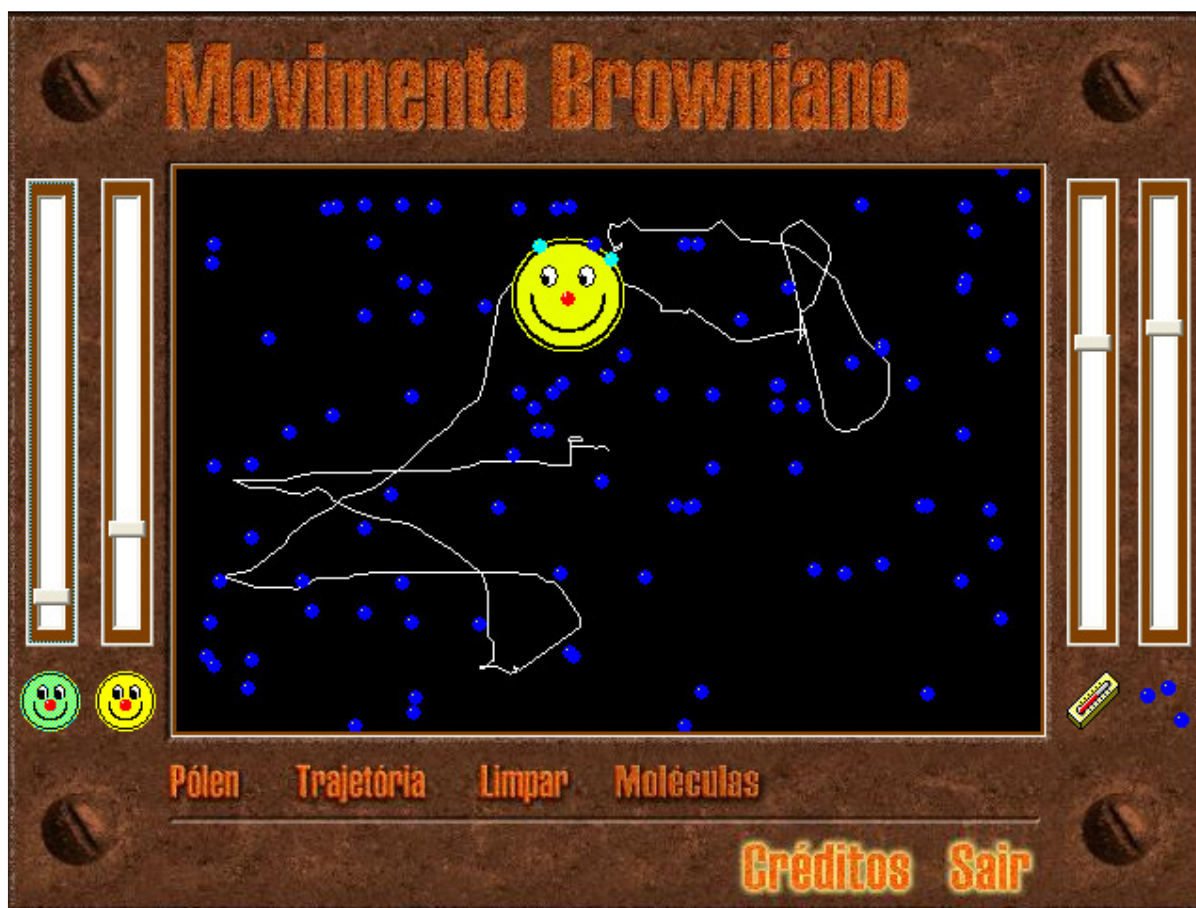


Figura 3.1 – Movimento Browniano (Arquivo do Software Modellus 2.1)

Por outro lado, o mesmo fenómeno simulado pelo Interage, com sua interface colorida, auto-elucidativa e de carácter lúdico, por se assemelhar a um jogo divertido, é muito mais atraente e potencialmente significativa para a compreensão do fenómeno em estudo.

Nesta simulação (Figura 3.2) é permitido variar as grandezas físicas: densidade e tamanho do pólen (à esquerda), temperatura e quantidade de moléculas do líquido (à direita), assim como permite a visualização da trajetória seguida pelo pólen.



**Figura 3.2** – Movimento Browniano (Software Interage – série Lorentz)

Além de já estar pronto para o objetivo a que se destina e permitir a variação das grandezas físicas envolvidas que caracterizam o fluido e o corpo, este software faz o interagente voltar sua atenção exclusivamente para a compreensão do fenômeno físico, sem preocupação com o modelo matemático.

O paralelo estabelecido entre os softwares acima, indica um caminho a ser seguido pelo modelo de software educativo de Física que aqui será proposto: reunir as características de simulação do Interage, adicionada, na medida do possível, do caráter lúdico de jogos como diferencial.

Face à extensão do currículo que compõe **FMC**, selecionam-se e expõem-se no capítulo que se segue tópicos relativos à radiação do corpo negro e ao efeito fotoelétrico, para, em seguida, analisar softwares relativos a este último conteúdo.

## 4. FUNDAMENTOS DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Mesmo com todo otimismo que reinava na comunidade científica do final do século XIX, duas nuvenzinhas<sup>9</sup> pairavam no horizonte brilhante da Física, conforme citou Lorde Kelvin em uma palestra no final daquele século. Segundo Medeiros, embora Kelvin tenha realmente falado dessas nuvens negras, “Há, na verdade, muito mito e exagero em torno dessa história” (2005, p.90).

A primeira nuvem estava relacionada à tentativa de se unificar a mecânica com o eletromagnetismo, cujo problema central era a propagação da radiação eletromagnética, que tinha o éter como cerne da questão. Na época, por mais que se tentasse comprovar sua existência, os resultados experimentais encabeçados pelos físicos norte-americanos Michelson e Morley, com seu interferômetro, eram negativos. A solução para esta questão viria com a Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein em 1905.

A segunda nuvem surgiu da tentativa de se compreender os problemas de interação da radiação com a matéria. Estava relacionada à radiação de um corpo opaco aquecido, cujos modelos teóricos propostos não concordavam com os dados experimentais. Fazer a modelagem matemática da radiância espectral emitida pela cavidade de um corpo quente, que se ajustasse à curva experimental, seguindo modelos clássicos e contínuos de energia era impossível. O primeiro passo para a solução do problema viria em 1900 com Max Planck, Nobel de Física de 1918 pela descoberta dos quanta de energia, ao propor a discretização da energia. Dava-se início à teoria quântica que viria unificar a teoria eletromagnética da luz com a termodinâmica e a mecânica estatística.

É sobre esta segunda nuvem, que originaria a Física Quântica, que discorreremos a seguir.

### 4.1 RADIAÇÃO DE CAVIDADE – HIPÓTESE DE PLANCK

Ao final do século XIX, a Física Clássica ainda não havia conseguido fazer a modelagem matemática do problema da distribuição de energia da radiação de cavidade emitida por um corpo quente.

---

<sup>9</sup> Segundo Stachel (2004), existiam mais questões além das supostas nuvens de Kelvin, como as colocadas pelo grupo de físicos intitulado ‘energeticistas’, que questionavam a própria hipótese atômico-molecular.

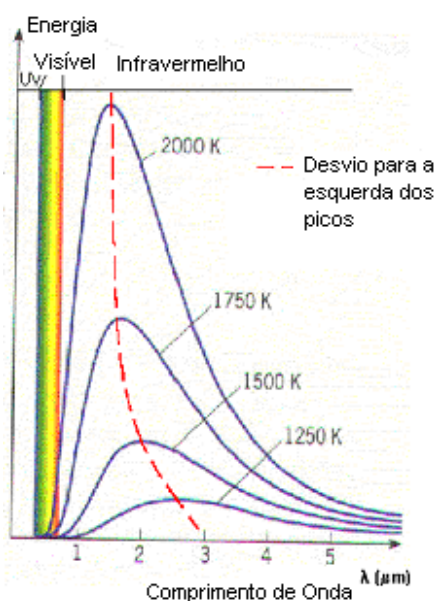
Um corpo quente que absorve toda a radiação incidente é chamado de corpo negro ideal. Uma boa aproximação para um corpo negro seria uma cavidade com um pequeno orifício, a radiação que incidir no orifício teria poucas chances de ser refletida para fora antes de ser absorvida pelas paredes da cavidade.

O fato de chamar-se corpo negro não quer dizer obrigatoriamente corpo de cor preta. A cor de um corpo negro depende de sua temperatura absoluta e varia desde a cor vermelho-escura, passando por todo espectro visível, indo até uma cor quase branca, quando seu brilho intenso é devido à alta temperatura de seu interior.

Em 1879, Josef Stefan descobriu uma relação empírica em que a potência por unidade de área irradiada por um corpo negro variava com a quarta potência da temperatura absoluta, tal resultado fora demonstrado cinco anos depois por Ludwig Boltzmann.

O gráfico abaixo (Figura 4.1) mostra a distribuição espectral de energia irradiada por um corpo negro em função do comprimento de onda para diversas temperaturas. O comprimento de onda para o qual a distribuição apresenta um máximo varia inversamente com a temperatura, ou seja, há um deslocamento do pico da curva no sentido dos menores comprimentos de onda. Esta proporcionalidade é expressa na Lei do deslocamento de Wien (Equação 4.1) proposta em 1893:

$$\lambda_{\text{MÁX}} \cdot T = \text{constante} \quad (\text{Equação 4.1})$$



**Figura 4.1** – Curvas de radiação  
(Fonte <http://egglescliffe.org.uk/physics/>)



Em suas tentativas de determinar a função distribuição espectral para o corpo negro, Wilhelm Jan Wien, Nobel de Física de 1911 por suas descobertas com relação às leis da radiação térmica, chegou a uma expressão matemática que concordava com os dados experimentais para altas frequências, mas para baixas frequências estava em desacordo.

Ainda baseados na Física Clássica, os ingleses James Jeans e o Lorde Rayleigh encontraram uma expressão para descrever a curva de distribuição de radiações, que funcionava bem para grandes comprimentos de onda, porém se afastava grosseiramente dos resultados experimentais a partir da radiação ultravioleta (altas frequências). “A enorme discrepância entre os resultados da teoria clássica e as observações experimentais para pequenos comprimentos de onda foi denominada *catástrofe do ultravioleta*” (TIPLER; LLEWELLYN, 2001, p. 85).

Finalmente, em 1900, o físico alemão Max Planck, fazendo algumas suposições estranhas para a época, ao que ele mesmo intitulou de ato de desespero, deduziu uma função que concordava com os valores experimentais ao introduzir o conceito de energia quantizada.

Planck sugeriu em sua hipótese (Equação 4.2) que não pode haver uma energia qualquer, mas apenas múltiplos inteiros de uma energia mínima, dada por:

$$E = h \cdot f \text{ (Equação 4.2)}$$

Onde  $f$  é a frequência da radiação dada em hertz, e  $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ , ou  $h = 4,136 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$  é a grandeza física *quantum* de ação, conhecida como constante de Planck, uma das mais importantes constantes da natureza.

A essa mínima quantidade de energia irradiada, que pode ser transportada pelos osciladores nas cavidades quentes, átomos que oscilam em movimento harmônico simples, Planck deu o nome de quantum.

Tal idéia foi, a princípio, difícil de ser aceita, principalmente quando Einstein a estendeu ao espectro eletromagnético, pois imaginar que a luz emitida por uma lâmpada não seria um fluxo contínuo de ondas eletromagnéticas, mas sim a emissão de inúmeros pacotinhos de energia, os quanta de luz (quanta é plural de quantum), foi no mínimo estranho para a Física Clássica. Planck introduziu com sua hipótese o germe da Nova Física: A Física Quântica.

A seguir, estuda-se o Efeito Fotoelétrico e como a hipótese de energia quantizada a ele se aplica.

## 4.2 O EFEITO FOTOELÉTRICO

É uma das ironias da história da ciência que, na famosa experiência de Heinrich Hertz, em 1887, na qual ele produziu e detectou ondas eletromagnéticas em laboratório (confirmando assim a teoria de Maxwell), ele também descobriu o efeito fotoelétrico que levou à descrição corpuscular da luz (TIPLER, 1981, p. 90).

Em suas pesquisas sobre a existência de ondas eletromagnéticas previstas por James Clerk Maxwell, Heinrich Hertz, quase que acidentalmente, faz a descoberta do Efeito Fotoelétrico em 1887, quando estudava descargas elétricas entre duas superfícies metálicas, concluindo que a luz, em particular a ultravioleta, gerava faíscas.

Estas faíscas, por terem origem no catodo, eram denominadas raios catódicos. E já vinham sendo observados em ampolas de vidro evacuadas por William Crookes desde 1879.

Em 1888, Wilhelm Hallwachs, auxiliar de Hertz, demonstra que uma superfície metálica iluminada por luz ultravioleta adquire carga positiva. Tal demonstração levou Philipp von Lenard, também discípulo de Hertz, a publicar nos *Annalen der Physik* um artigo afirmando serem partículas que escapavam da superfície do metal.

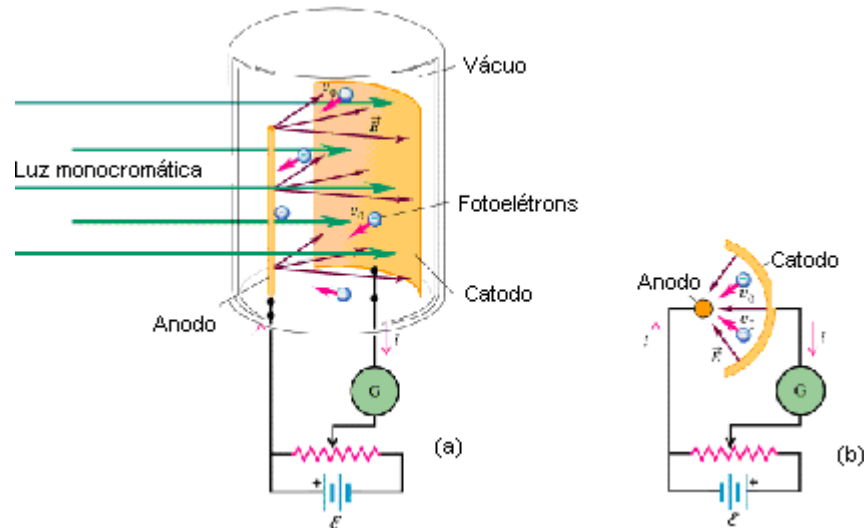
Em 1895, Jean Baptiste Perrin, Nobel de 1926, demonstra serem partículas carregadas negativamente os raios catódicos.

Em 1897, Joseph John Thomson, Nobel em 1906, comprova a natureza corpuscular dos raios catódicos; estava descoberto o elétron.

Segundo Segrè (1987), Thomson extrapolou em suas observações ao concluir que: “[...] os corpúsculos que constituíam os raios catódicos eram os mesmos, qualquer que fosse a composição do catodo ou do anticatodo ou do gás na válvula. Tratava-se de um componente universal de toda matéria” (p.18).

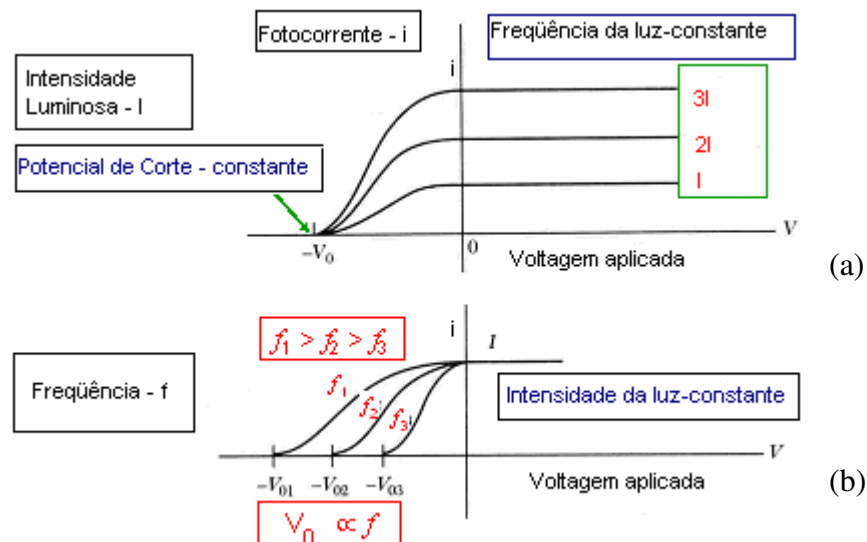
Lenard, em 1902, por meio da experimentação, viria a observar que a energia das partículas carregadas negativamente que se desligavam da superfície do metal não dependia da intensidade da luz incidente. Também verificou que a razão entre a carga e a massa dessas partículas coincidia com o valor encontrado

por Thomson para o elétron. Esta evidência experimental identificou tais partículas como fotoelétrons (Figura 4.2).



**Figura 4.2** – Representação do circuito de um fototubo  
(Fonte: Copyright © Addison Wesley Longman, Inc)

Em seus experimentos, Lenard fez incidir luz monocromática no catodo de uma ampola evacuada e analisou graficamente a corrente fotoelétrica *versus* o potencial acelerador entre catodo e anodo e sua dependência com a intensidade luminosa e freqüência, obtendo as curvas representadas abaixo (Figura 4.3).



**Figura 4.3** – Fotocorrente  $i$  em função da tensão do anodo  $V$   
(Fonte: <<http://www.courses.vcu.edu/PHYS320/pdf/2DualityParticle041.pdf>>)

Nestes gráficos,  $V_0$  representa o potencial de corte, ou seja, o valor absoluto mínimo da diferença de potencial invertida entre anodo e catodo, que faz a corrente fotoelétrica se anular. Para esta situação, os elétrons com velocidade máxima deixam o catodo em direção ao anodo, aonde chegam com velocidade igual a zero. A energia cinética máxima com que os elétrons são liberados é máxima e dada por:

$$E_{cmáx} = e \cdot V_0 \text{ (Equação 4.3)}$$

Onde  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ , em módulo, representa o valor da carga elétrica elementar para o elétron.

Esta análise levou Lenard a concluir que um aumento de intensidade da radiação incidente, mantendo constante a frequência, aumentava o número de elétrons emitidos, por conseguinte a corrente, mas sem aumentar sua energia, visto que o potencial de corte permanecia constante, ou seja, o potencial de corte é independente da intensidade da luz incidente (Figura 4.3a).

Para Chesman, André e Macêdo (2004):

Um resultado contrário ao previsto pelas teorias clássicas, onde se esperava que um aumento da intensidade da luz favoreça um aumento na energia cinética dos fotoelétrons arrancados do catodo, e conseqüentemente de  $V_0$  [...] Um fato que deixou intrigado muitos cientistas daquela época (p. 100).

Lenard concluiu também que o potencial de corte  $V_0$  e, portanto, a energia cinética máxima dos fotoelétrons emitidos dependia da frequência da luz incidente (Figura 4.3b).

Segundo Rohlf (1994), “[...] seus dados não estavam corretos o suficiente para serem tomados na forma de função” (p.76). Mesmo assim, por seus trabalhos sobre os raios catódicos, Lenard recebeu o Nobel de 1905.

Estes resultados experimentais iam de encontro ao estabelecido pelas teorias ondulatórias, ou modelo clássico, que prevê que a energia de uma onda está diretamente ligada à sua amplitude e não à sua frequência, bem como que luzes de maiores intensidades originassem fotoelétrons em maiores quantidades, mais energéticos e mais fáceis de serem arrancados.

Esperava-se também que os elétrons levassem um certo tempo para serem emitidos. Afinal, pela teoria ondulatória da luz “[...] deveria haver um lapso de tempo mensurável entre o instante em que a luz incide sobre a superfície e a ejeção do fotoelétron [...] Entretanto, nenhum lapso detectável de tempo foi jamais medido” (RESNICK; HALLYDAY, 1981, p. 280). Mesmo que a intensidade da luz incidente seja muito fraca “[...] não há demora apreciável para que os elétrons sejam arrancados [...]” (ACOSTA; COWAN; GRAHAM, 1975, p.73)

A velha visão determinista de mundo, acrescida da eletrodinâmica de Maxwell, constituíam um verdadeiro reforço ao programa mecanicista. Era praticamente um dogma supor a luz como onda eletromagnética. Para discordar seria preciso desafiar pontos de vista filosóficos e a própria razão.

Em março de 1905, Albert Einstein, com apenas 26 anos e funcionário modesto de um departamento de patentes em Berna - Suíça, escreve, em seu *annus mirabilis*, o mais revolucionário de seus trabalhos, “[...] é o único que o próprio Einstein considera verdadeiramente radical” (STACHEL, 2001, p.28).

Ao escrever para um amigo, Einstein cita que: “O artigo trata da radiação e das propriedades energéticas da luz e é muito revolucionário, como você verá” (STACHEL, 2001, p. 19).

O artigo submetido ao *Annalen der Physik* intitulava-se:

Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt (Um ponto de vista heurístico sobre a geração e transformação da luz) - contém a descoberta dos quanta de luz e, como aplicação secundária, a explicação do efeito fotoelétrico (SEGRÉ, 1987, p. 82).

Aplicando a hipótese da quantização da energia proposta por Planck, como um artifício de cálculo na solução da radiação do corpo negro, Einstein concebe a idéia dos quanta de luz e estende a todo espectro eletromagnético. Estava retomada a posição newtoniana de luz como partícula, com estrutura granulada e discreta e enunciada a teoria quântica do Efeito Fotoelétrico. Mais tarde, um quantum de radiação eletromagnética foi chamado de fóton. Um fóton é uma partícula que transporta energia e momentum, tem massa de repouso teoricamente nula e move-se à velocidade da luz. O comprimento de onda de fótons visíveis varia de 400 nm a 700 nm.

Einstein, ao supor que “[...] a matéria e a radiação podem interagir apenas por meio da troca desses quanta de energia” (STACHEL, 2001, p. 37), desenvolveu uma correta explicação para o Efeito Fotoelétrico ao considerar que a radiação eletromagnética incidente numa superfície metálica consistia de pacotes de energia que viajavam à velocidade da luz, podendo ser refletidos, ou mesmo, desaparecer. Neste caso, cada fóton cede toda sua energia para apenas um elétron, que poderá se desligar ou não da superfície metálica. Elétrons da superfície metálica vencem mais facilmente a atração causada pelas cargas positivas e a barreira de energia potencial por elas criada nesta interação.

Einstein, aplicando então a lei da conservação da energia, mostrou que a máxima energia cinética ( $E_{c\text{máx}}$ ) de cada elétron ejetado, após a colisão com o fóton, é dada por:

$$E_{c\text{máx}} = E_{\text{fóton}} - \phi \quad (\text{Equação 4.4})$$

Atribuindo à energia do fóton a mesma expressão da hipótese de Planck (Equação 4.2), conforme sugeriu Einstein:

$$E_{c\text{máx}} = h \cdot f - \phi \quad (\text{Equação 4.5})$$

Onde  $\phi$  é uma propriedade do metal chamada de função trabalho, que representa a quantidade de energia mínima necessária para o elétron se desligar do metal. Alguns valores de  $\phi$ , dado em elétron-volt, podem ser encontrados nas páginas finais deste trabalho (ANEXO A).

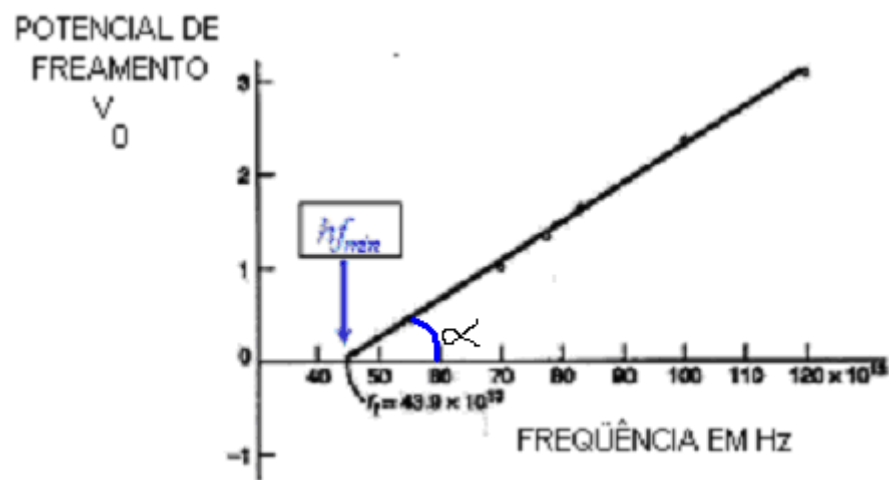
Ao substituir o valor da energia cinética máxima do elétron ejetado (Equação 4.3) na equação de Einstein (Equação 4.5), tem-se:

$$e \cdot V_0 = h \cdot f - \phi \quad (\text{Equação 4.6})$$

Que resulta ainda em uma outra forma de expressar a equação de Einstein para o Efeito Fotoelétrico:

$$V_0 = \left( \frac{h}{e} \right) \cdot f - \frac{\phi}{e} \quad (\text{Equação 4.7})$$

Nessa expressão (Equação 4.7), a variação linear de  $V_0$  com  $f$  é representada graficamente por uma reta (Figura 4.4), cuja inclinação, dada por:  $\text{tg } \alpha = \frac{h}{e}$ , é uma saída experimental para se calcular a constante universal  $h$  (constante de Planck), que independe do tipo de metal irradiado.



**Figura 4.4** – Gráfico do Potencial de freamento ( $V_0$ ) versus Frequência ( $f$ )

(Fonte: <<http://www.courses.vcu.edu/PHYS320/pdf/2DualityParticle041.pdf>>)

Ao analisar o gráfico (Figura 4.4), pode-se prever também a existência de uma frequência de corte ( $f_{\min}$ ) abaixo da qual não se verifica o Efeito Fotoelétrico. Para tanto, basta fazer  $V_0 = 0$  na equação 4.6:

$$0 = h \cdot f_{\min} - \phi$$

E isolar  $f_{\min}$ :

$$f_{\min} = \frac{\phi}{h} \quad (\text{Equação 4.8})$$

Para comprovar a equação de Einstein, Robert Andrews Millikan, Nobel de 1923, levou mais de dez anos de trabalho, e mesmo não acreditando totalmente em sua validade, em 1916, após tomar bastante cuidado na preparação do experimento, demonstra que a máxima energia cinética dos elétrons é proporcional à frequência. Também determina o valor de  $h$  com uma precisão de 0,3%, provando que esta constante é a mesma da radiação térmica da fórmula de Planck.

Além de resolver o problema do Efeito Fotoelétrico, Einstein revelou a natureza dual da radiação eletromagnética: ondulatória-corpúscular. Em 1924, Louis de Broglie, físico francês, Nobel de Física de 1929, propõe que esta mesma dualidade ocorre também com a matéria, em outras palavras, propôs que um elétron pode também se comportar como uma onda.

Para compreender esta dualidade, Niels Bohr, físico dinamarquês, Nobel de Física de 1922, aplicou o princípio da complementaridade afirmando que conceitos inter-relacionados devem ser tomados como descrições complementares da mesma realidade, sendo ambos necessários para sua total descrição, entretanto, não podendo ser usados simultaneamente. “Na visão de Bohr, os conceitos de partícula e de onda eram duas descrições complementares da mesma realidade, cada uma sendo apenas parcialmente correta e tendo um âmbito limitado de aplicações” (BRENNAN, 1998, p.159).

Pelo trabalho sobre o Efeito Fotoelétrico e sua contribuição à Física teórica, Einstein foi agraciado tardiamente pelo Nobel de 1921. Isto revela que ele não foi muito levado a sério pela comunidade científica do início do século XX.

Atualmente, o Efeito Fotoelétrico está presente na moderna tecnologia. Entre outras aplicações, citam-se os tubos fotomultiplicadores para visão noturna, em que uma corrente fotoelétrica é ampliada e direcionada para uma tela que cintila quando atingida por elétrons, a imagem, “[...] formada por milhões de cintilações, é milhares de vezes mais nítida do que a imagem formada a olho nu” (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p. 183).

Serão apresentados e analisados a seguir dois objetos de aprendizagem veiculados na Internet sobre Efeito Fotoelétrico.



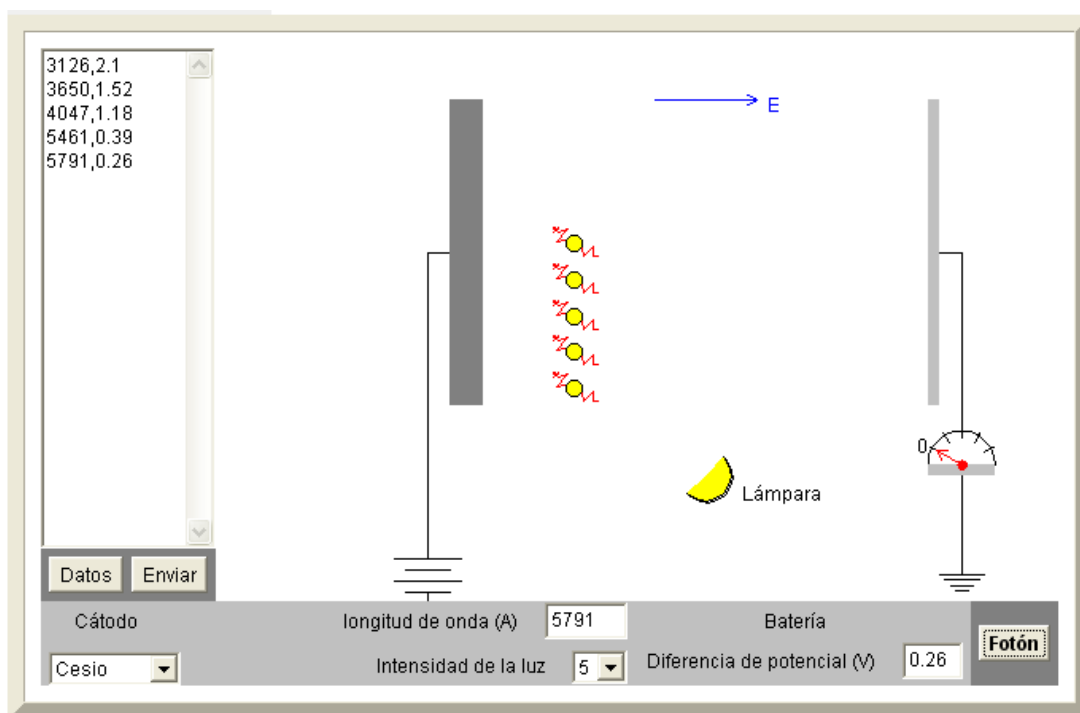
### 4.3 SOFTWARES SOBRE EFEITO FOTOELÉTRICO

As simulações apresentadas nos *applets* abaixo são o resultado da pesquisa em diversos endereços eletrônicos que contêm material relacionado ao Efeito Fotoelétrico. A observação destes softwares serviu para estabelecer parâmetros técnicos e pedagógicos de como abordar este mesmo assunto na proposta de software que se vai estabelecer, dando-lhe, porém, um novo enfoque.

Embora tratem do mesmo tópico, Efeito Fotoelétrico, os objetos de aprendizagem abaixo diferem metodologicamente: o primeiro deles, que se enquadra numa categoria mista de tutorial com simulação, faz uso demasiado da barra de rolagem, pois, além da fundamentação teórica sobre Efeito Fotoelétrico, traz orientações de como usar os dois *applets* nele contido; o segundo *applet*, classificado como software de simulação, é mais objetivo ao aparecer numa só página *Web* pronto para ser explorado.

**APPLET 1** Fonte: <<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica>>

Crédito: Angel Franco Garcia - Universidad del País Vasco/Espanha



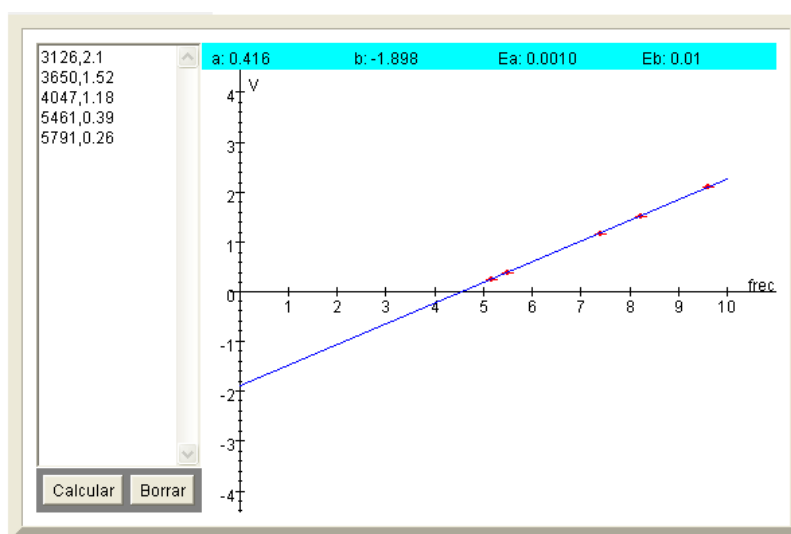
**Figura 4.5** – Simulação do Efeito Fotoelétrico

Este objeto de aprendizagem faz parte de uma das atividades intitulada experiências relevantes da lição Mecânica Quântica, proposta no curso *on-line*: Física com Ordenador – Curso Interativo de Física na Internet. São lições hipertextuais que trazem uma descrição do fenômeno em estudo, propõem uma atividade, em que se faz uso da simulação, e finaliza com uma análise dos resultados. É um instrumento que ilustra os aspectos não óbvios do Efeito Fotoelétrico, fundamentais na compreensão de sua representação matemática e conceitual.

Ao interagir com o *applet* acima (Figura 4.5), podem-se fazer variar as grandezas físicas: comprimento de onda, intensidade da luz, diferença de potencial e o tipo de material do catodo.

Ao clicar no ícone “fóton”, a lâmpada emite luz da cor selecionada, correspondente aos comprimentos de onda de uma tabela fornecida na lição. Alguns destes valores podem ser consultados no final deste trabalho (ANEXO B). Estes fótons, ao incidirem no catodo, poderão liberar ou não elétrons. Caso os elétrons sejam ejetados e atinjam o anodo, o amperímetro acusa a passagem de corrente.

Variando a diferença de potencial, encontra-se para cada comprimento de onda selecionado o correspondente potencial de corte. Este par de valores é então enviado para outro *applet* (Figura 4.6), que está logo abaixo ao rolar a página, que traça o gráfico potencial de corte *versus* frequência, a partir do qual é possível se calcular a constante de Planck.



**Figura 4.6** – Gráfico do Potencial de corte (V) *versus* frequência (f)

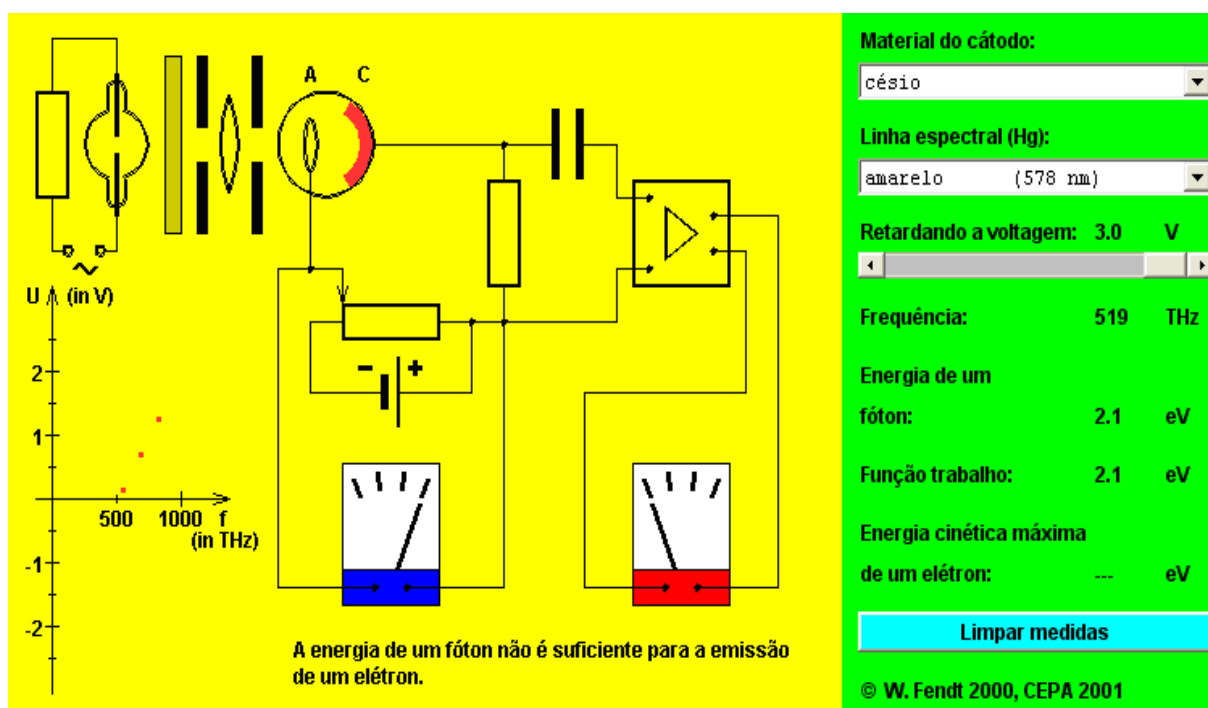
A análise do *applet* encontrou as seguintes dificuldades:

- O *applet* orienta que se tomem os valores dos comprimentos de onda da luz da lâmpada de uma tabela localizada acima dele. Isto obriga a ter que rolar a página toda vez que seu valor é alterado.
- Ao fixar o comprimento de onda, não é tarefa fácil, por meio de tentativas, descobrir o potencial de freamento dos fotoelétrons no quadro “Bateria - Diferencia de potencial (V)”.
- Nem sempre, ao clicar em “Calcular” (Figura 4.6), aparece a reta que permite calcular a constante de Planck.

Não resta dúvida que é um material com bastante rigor científico, entretanto, a pouca atratividade de sua interface, representada por circuitos elétricos descontextualizados, pode dificultar o interesse do aluno.

**APPLET 2** Fonte: <<http://www.walter-fendt.de/ph11br/>>

Crédito: Walter Fendt



**Figura 4.7** – Simulação do Efeito Fotoelétrico

Este objeto de aprendizagem (Figura 4.7) traz no canto superior direito três variáveis: o material do catodo (césio, potássio e sódio), o comprimento de onda

da luz representada pela “Linha espectral (Hg)” nas cores: amarelo, verde, violeta e ultravioleta da lâmpada de mercúrio que figura no canto superior esquerdo e a barra de controle do retardamento da voltagem, que varia de 0 a 3 volts. A monitoração da voltagem é feita pelo instrumento de tarja azul, e a monitoração da corrente fotoelétrica no instrumento de tarja vermelha localizados no centro da tela.

Ao fixar o material do catodo, varia-se a linha espectral determinando para cada uma delas, na barra “Retardando a voltagem”, o potencial de corte. Estes pares de pontos, potencial de corte e frequência, são enviados automaticamente para o gráfico do lado esquerdo do *applet* (Figura 4.8), que traça a reta ao final de cada experimentação, sinalizando o fim da seqüência de cliques dados pelo usuário/interagente. Para uma nova observação, é só clicar na barra azul “Limpar medidas”, situada no canto inferior direito.

Por meio deste gráfico é possível prever o valor da constante de Planck, bem como observar que, quando variamos o material do catodo, o novo gráfico que se forma é paralelo ao anterior. Isto comprova a universalidade da constante de Planck e sua independência em relação ao tipo de material.

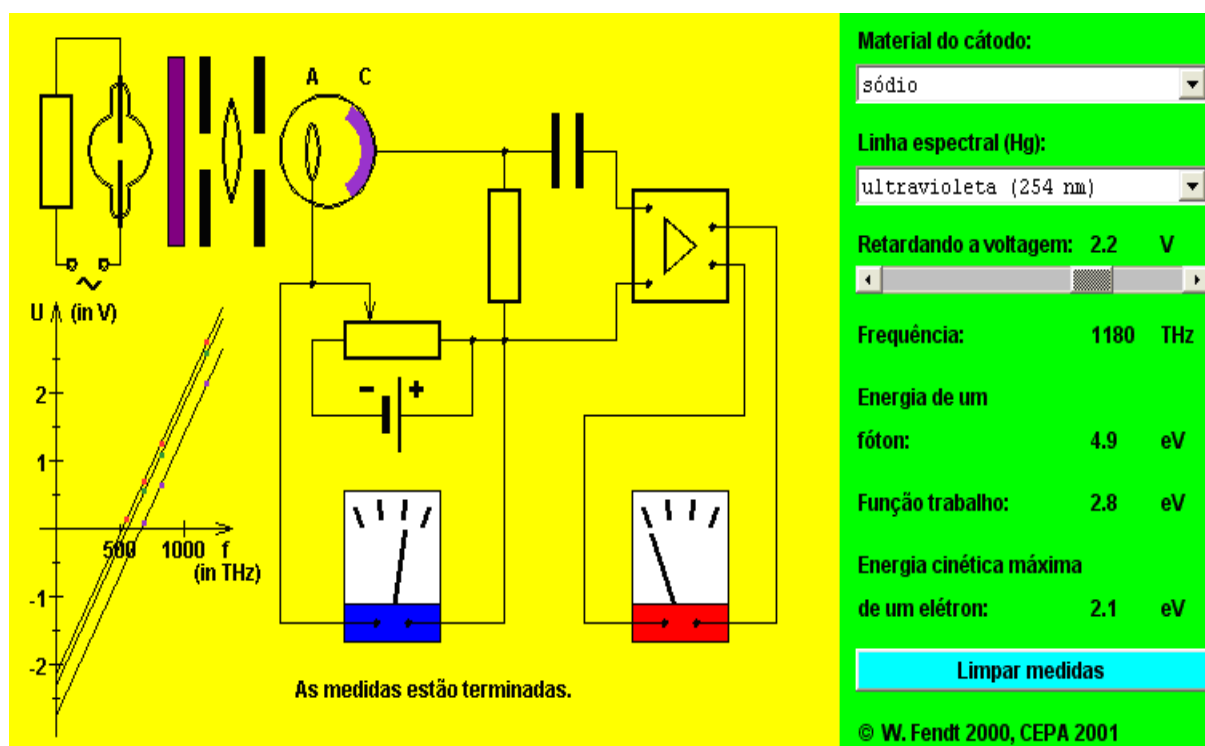


Figura 4.8 – Applet após final das interações

A análise do *applet* encontrou as seguintes dificuldades:

- Para usuários/interagentes sem conhecimentos prévios de Efeito Fotoelétrico, é um *applet* que exige mediação de alguém mais abalizado, visto que não traz nenhum ícone de ajuda com orientações de uso.
- O fato de não fazer a representação dos fótons e dos elétrons usando corpúsculos como no *applet* anterior dificulta discussões acerca da natureza da luz, que também poderiam ser abordadas.

Apesar destas dificuldades, ele encerra características necessárias à nossa proposta. É apresentado em uma só tela, tem relativa facilidade de ser usado e compreendido, tem *feedback* imediato às ações do interagente na medida em que é guiado por uma mensagem centralizada na parte inferior da tela, o que proporciona maior grau de interatividade.

Os materiais acima analisados foram muito bem elaborados, prestando-se bem ao objetivo a que se destinam, que é a aprendizagem do Efeito Fotoelétrico. Entretanto, não apresentam o caráter lúdico e motivador que trazem os jogos.

Ao interagir com estes softwares, que fornecem *feedbacks* rápidos às ações do usuário, constata-se a possibilidade de realizar-se muito mais experimentações, observações, levantamento de hipóteses e testagens, o que não seria nada fácil no ambiente real do laboratório, pois tomariam muito mais tempo e dificilmente se dariam nas mesmas condições. Portanto, fazer uso do software pode abreviar mudanças conceituais necessárias à compreensão de **FMC**.

Ademais, o software educativo, ao constituir-se em material didático de apoio para auxiliar na construção dos novos modelos físicos decorrentes da Física Quântica, possibilita o que, há cem anos, só era possível por meio de experimentos de pensamento ou *Gedanken*, como sugeria Einstein em seus ensaios mentais. Ainda hoje, experimentos com Física Moderna não são facilmente acessíveis em sala de aula, ou laboratórios de Física em escolas de Ensino Médio.

A dificuldade de realizar experimentos em **FMC** justifica a inclusão de produtos educacionais informatizados nesta área do saber, em que o mundo do muito ínfimo das partículas que compõem a matéria, ou do muito rápido das interações destas partículas com a matéria tem desafiado físicos e pesquisadores de modo geral a compreender a origem do universo e da vida.

Considerando então que as tecnologias são auxiliares para superar os problemas de aprendizagem em Física, apresenta-se a seguir, o agente de transposição didática informatizado **QUANTUM**, um software educativo que tem por proposta reunir as características de modelagem pedagógica/computacional relatadas ao longo deste trabalho.

## 5. MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DO SOFTWARE QUANTUM

O presente capítulo trata do ciclo de vida de desenvolvimento do software **QUANTUM** e sua implementação, cuja modelagem fundamenta-se nos conceitos de programação orientada a objetos. Inclui sua arquitetura, em que se especificam o diagrama de casos de uso e a modelagem por meio do diagrama de classes. Apresenta também suas interfaces e realização informática. Por fim, encerra com um teste de funcionalidade ao aplicar um de seus objetos de aprendizagem, o Pato Quântico, na resolução de uma situação problema.

### 5.1 MODELAGEM DO SOFTWARE QUANTUM

Fundamentado no paradigma da programação orientada a objetos, especificada pelos padrões de linguagem de notação UML (*Unified Modeling Language* – Linguagem de Modelagem Unificada) (RUMBAUGH; JACOBSON; BOOCH, 1999), procede-se à modelagem visual do **QUANTUM**.

Deve ficar bem claro, no entanto, que a UML não é uma linguagem de programação e sim uma linguagem de modelagem, cujo objetivo é auxiliar os engenheiros de software a definir as características do software, tais como seus requisitos, seu comportamento, sua estrutura lógica, a dinâmica de seus processos e até mesmo suas necessidades físicas em relação ao equipamento sobre o qual o sistema será implantado (GUEDES, 2004, p.17).

Na construção dos diagramas de caso de uso e de classes foi utilizado o software JUDE (*Java UML Development Environment*), que é uma ferramenta de licença *free*, disponível em: <[http:// www.esm.jp/jude-web/index.html](http://www.esm.jp/jude-web/index.html)>. Acessado em: 26 ago. 2005.

#### 5.1.1 Diagrama de casos de uso

O diagrama de casos de uso é um documento narrativo que mostra o que o sistema, software QUANTUM, deverá fazer e em que usos ou aplicações será empregado. Explicita também a seqüência de eventos e como seus atores vão interagir e relacionar-se com o sistema para completar um processo.

Os atores inicialmente levantados foram **Professor** e **Aluno**. Por meio de um relacionamento de comunicação explícita, o ator **Professor** abre o sistema, *use case* **Abrir sistema**, e solicita ao ator **Aluno** que inicie os casos de uso para interações. O ator **Aluno** inicia a execução de um caso de uso podendo contar com o apoio do ator **Professor**, que é alguém mais especializado por possuir todos os seus atributos, além de outros adicionais, pode até ser um outro aluno mais capaz e com melhor domínio da área a ser estudada, este caso de uso será representado pelo *case* **Fornecer ajuda**.

Mais interações entre o ator **Aluno** e o sistema são descritas pelos seguintes casos de uso:

- Possibilidades de relacionar à Física Moderna e Contemporânea - **FMC** a imagem de cada físico que a ela deu contribuição. Isto implica em selecionar a imagem de um físico que se destacou no século XX na área de **FMC**. Este serviço, ou *use case*, será representado pelo caso de uso **Selecionar Físico**.

- Possibilidades de selecionar para cada físico uma lista de atividades a ser explorada. Isto implica em listar tópicos e sub-tópicos correlatos ao trabalho daquele físico. Este *use case* será representado pelo caso de uso **Selecionar Atividade**.

- Possibilidades de selecionar para cada físico seus dados biográficos. Isto implica em reunir dados pessoais, datas e contribuições científicas para cada físico listado. Este *use case* será representado pelo caso de uso **Consultar biografia**.

- Possibilidades de incluir conteúdos específicos para cada atividade proposta. Isto implica em listar para cada atividade selecionada itens e/ou sub-itens relativos àquele tópico. Este *use case* será representado pelo caso de uso **Selecionar conteúdo**.

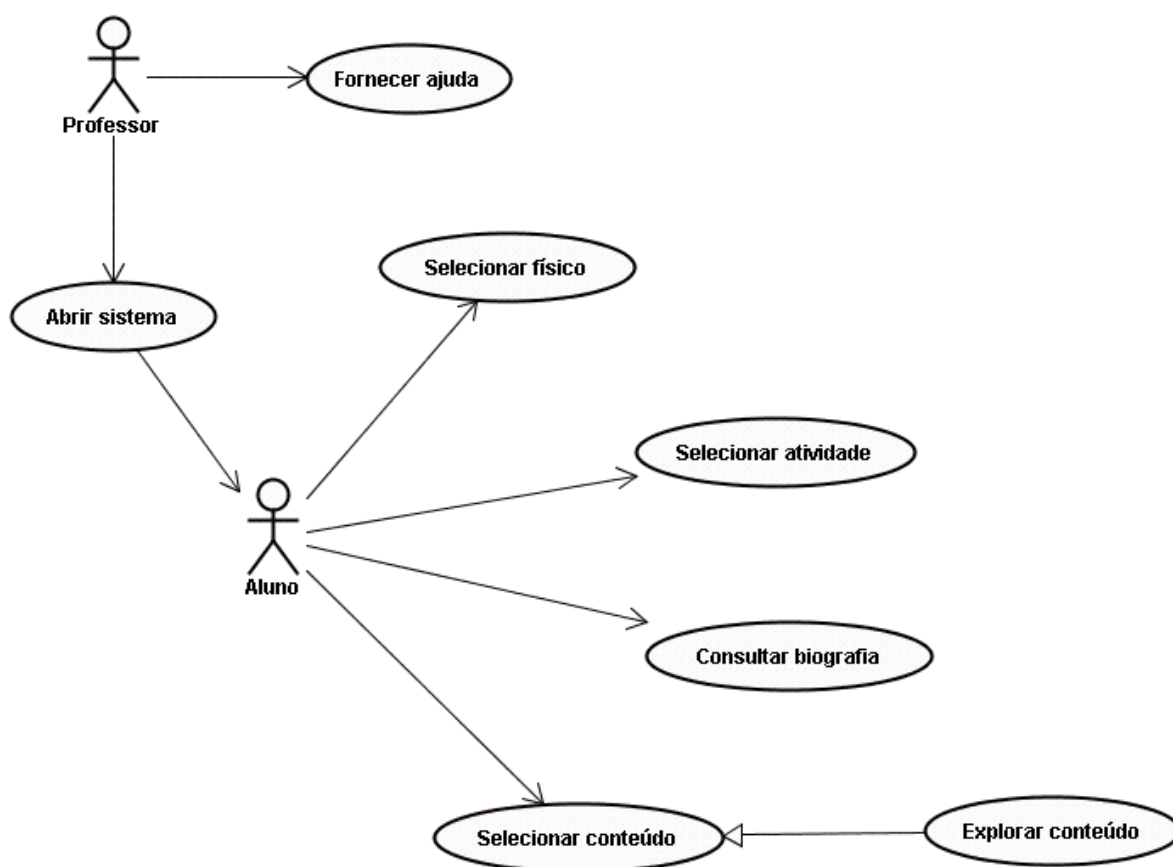
- Possibilidades de criar ações específicas para cada conteúdo selecionado. Isto implica em explorar os objetos de aprendizagem, hipertextos, vídeos e demais recursos disponíveis. Este *use case* será



representado pelo caso de uso **Explorar conteúdo**, que se relaciona ao caso de uso **Selecionar conteúdo** por meio de uma relação estrutural de generalização, tendo em vista que herda todo o serviço especificado por este caso de uso mais geral.

A apresentação dos casos de uso acima segue o modelo de levantamento de casos de uso principais sugeridas por Stadzisz (2002).

A seguir, apresenta-se (Figura 5.1) o digrama de casos de uso para o sistema **QUANTUM**.



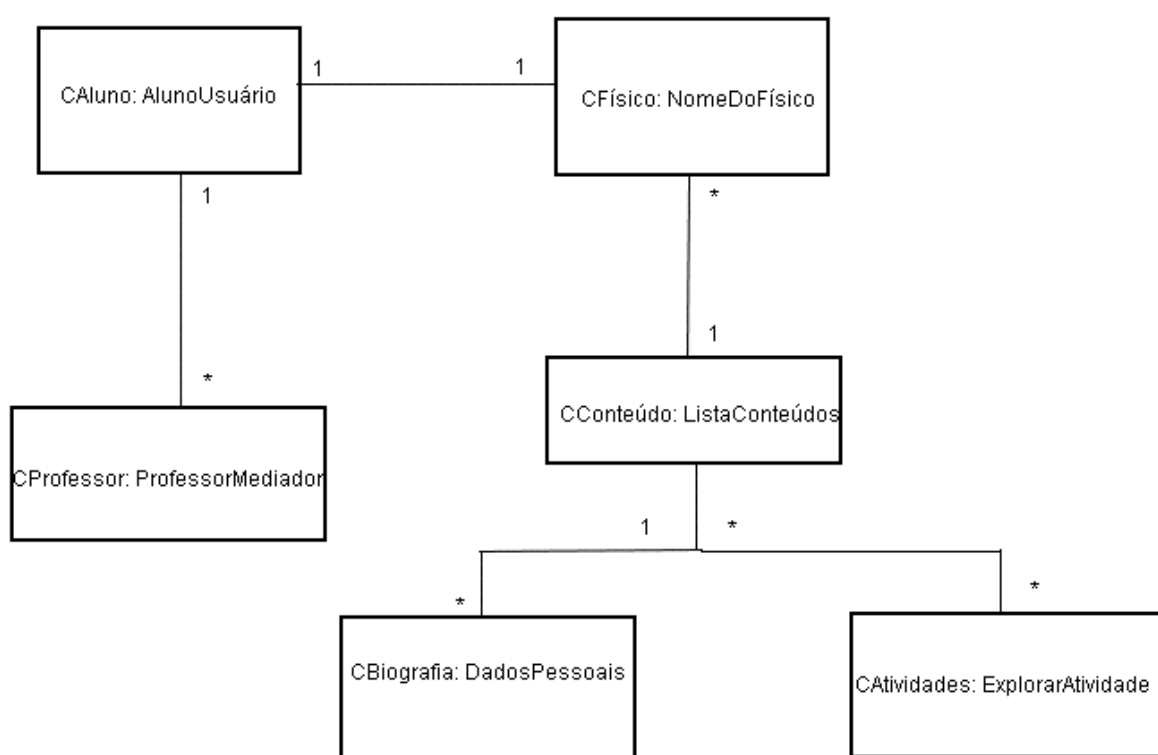
**Figura 5.1** – Diagrama de casos de uso para o sistema QUANTUM

### 5.1.2 Diagrama de classes

O diagrama de classes é um gráfico que mostra como será a estrutura de implementação de um sistema. Além de proporcionar uma visão geral do mesmo e de sua complexidade, apresenta as características, atributos e métodos de cada

classe, o que permite analisar também suas particularidades e o encaminhamento de correções futuras na fase de refinamento.

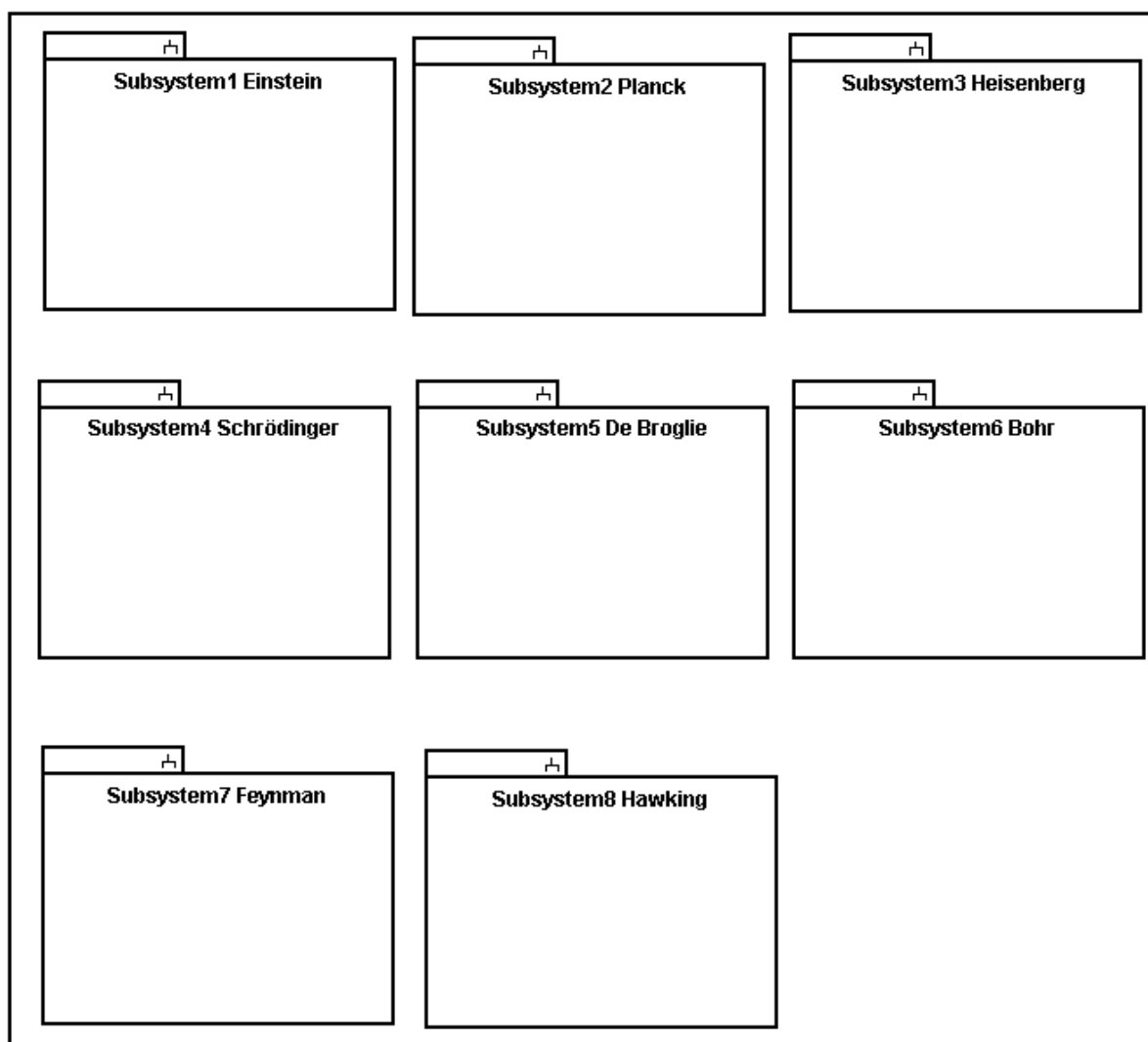
Mostra-se a seguir (Figura 5.2) o diagrama geral do sistema **QUANTUM**, que possibilita este projeto de modelo de software, abre caminhos para sua documentação e permite sua visualização. Fez-se a opção por uma simbologia alternativa mais simples na forma de retângulo. “Esse símbolo reduzido (que omite os compartimentos destinados ao atributo e à operação) é conveniente quando se deseja exibir somente a classe e o nome dela” (PAGE-JONES, 2001, p.88).



**Figura 5.2** – Diagrama de classes do sistema **QUANTUM**

O sistema **QUANTUM** pode também ser representado por subsistemas composto por cada físico que está contido na classe **CFísico** (Figura 5.3).

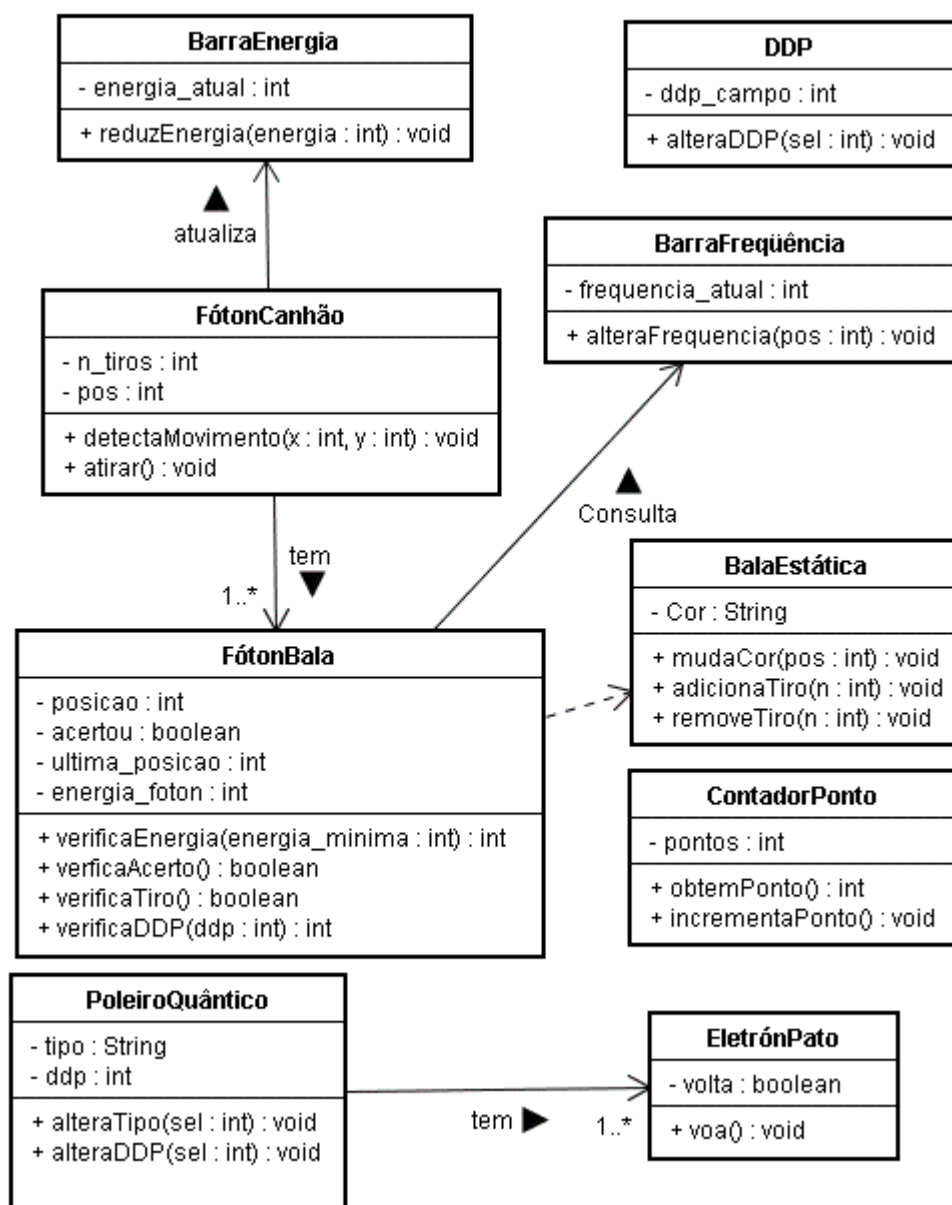
A estes subsistemas foram dados os nomes dos físicos: Einstein, Planck, Heisenberg, Schrödinger, De Broglie, Bohr, Feynman e Hawking, em virtude de suas colaborações à Física Moderna e Contemporânea.



**Figura 5.3** – Subsistemas que compõem o Quantum

À classe **CAtividades** serão acoplados os objetos de aprendizagem à medida que forem sendo desenvolvidos.

A título de ilustração, suponha-se que na classe **CFísico** seja selecionado, por exemplo, o ícone correspondente ao Einstein, e, em seguida, na classe **CConteúdo**, opte-se por trabalhar a atividade que trata do Efeito Fotoelétrico e selecione-se para auxiliar na exploração deste conteúdo o objeto de aprendizagem Pato Quântico. Este objeto de aprendizagem é detalhado em seu diagrama de classes apresentado abaixo (Figura 5.4).



**Figura 5.4** – Diagrama de Classes do Pato Quântico

A seguir, apresenta-se o **QUANTUM** enfatizando seu aspecto funcional, descrevendo suas interfaces e o objeto de aprendizagem **PATO QUÂNTICO**.

## 5.2 DESCRIÇÃO DO QUANTUM E INTERFACES

O **QUANTUM** é um software que tem por objetivo agrupar objetos de aprendizagem específicos para a Física Moderna e Contemporânea - **FMC** e integrar diversas mídias eletrônicas, serviços e ferramentas da Internet.

O software foi concebido a partir de um projeto, ou arquitetura pedagógica/computacional, que visa à interatividade e ao incentivo à interação social. Para tanto, tem-se optado pela simulação e jogos como tipologia de software, por acreditar ser o que mais se adequa a este modelo, na medida em que coloca o aluno em uma postura pró-ativa, ou seja, aquele que busca o seu conhecimento.

O software *Modellus<sup>TM</sup> 2.5*<sup>10</sup>, gratuito na rede Internet e por ser um programa que ocupa um pequeno espaço, pode ser incorporado como material de apoio ao **QUANTUM**, para tanto, deve-se inserir um caminho de atalho em seus objetos de aprendizagem que permita acessá-lo sempre que necessário. Os objetos de aprendizagem incorporados ao **QUANTUM** podem também conter *links* à *applets*<sup>11</sup>, possibilitando a interação com a rede. Tais recursos extras poderão ser usados, por exemplo, na modelagem matemática de equações e gráficos para auxiliar na compreensão e interpretação de dados oriundos das simulações.

A implementação do **QUANTUM** inicialmente foi feita no Macromedia Flash MX, pode-se também optar por Java, asp, html ou uma outra linguagem de programação para composições futuras.

A interface inicial do software (Figura 5.5) é uma representação do universo com um fundo musical que já inspira reflexões acerca do Cosmo. Sobre este plano de fundo, ícones móveis, como imagens de físicos do século XX, que se destacaram na formulação dos conceitos de **FMC**, conferem-lhe dinamismo.

---

<sup>10</sup> Disponível em: <<http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/>>.

<sup>11</sup> Como exemplo cita-se o *applet* de ajuste de reta disponível em: <http://omnis.if.ufrj.br/~carlos/applets/reta/reta.html>.



Figura 5.5 – Tela inicial do QUANTUM

O usuário/interagente, ao clicar com o *mouse* sobre uma destas imagens, será arremetido a interagir e explorar os trabalhos correlacionados ao físico selecionado podendo optar também por conhecer sua biografia. O nome do físico faz o *link* a páginas *Web*. A figura abaixo (Figura 5.6) exemplifica esta idéia.



Figura 5.6 – Frame do QUANTUM correspondente ao ícone Einstein

Ao clicar em **Einstein** → **Efeito Fotoelétrico** → **Pato Quântico**, o usuário/interagente passa a explorar um objeto de aprendizagem, que se espera auxiliá-lo na compreensão do Efeito Fotoelétrico. A seção seguinte trata deste objeto de aprendizagem.

### 5.2.1 O Pato Quântico: uma metáfora do Efeito Fotoelétrico

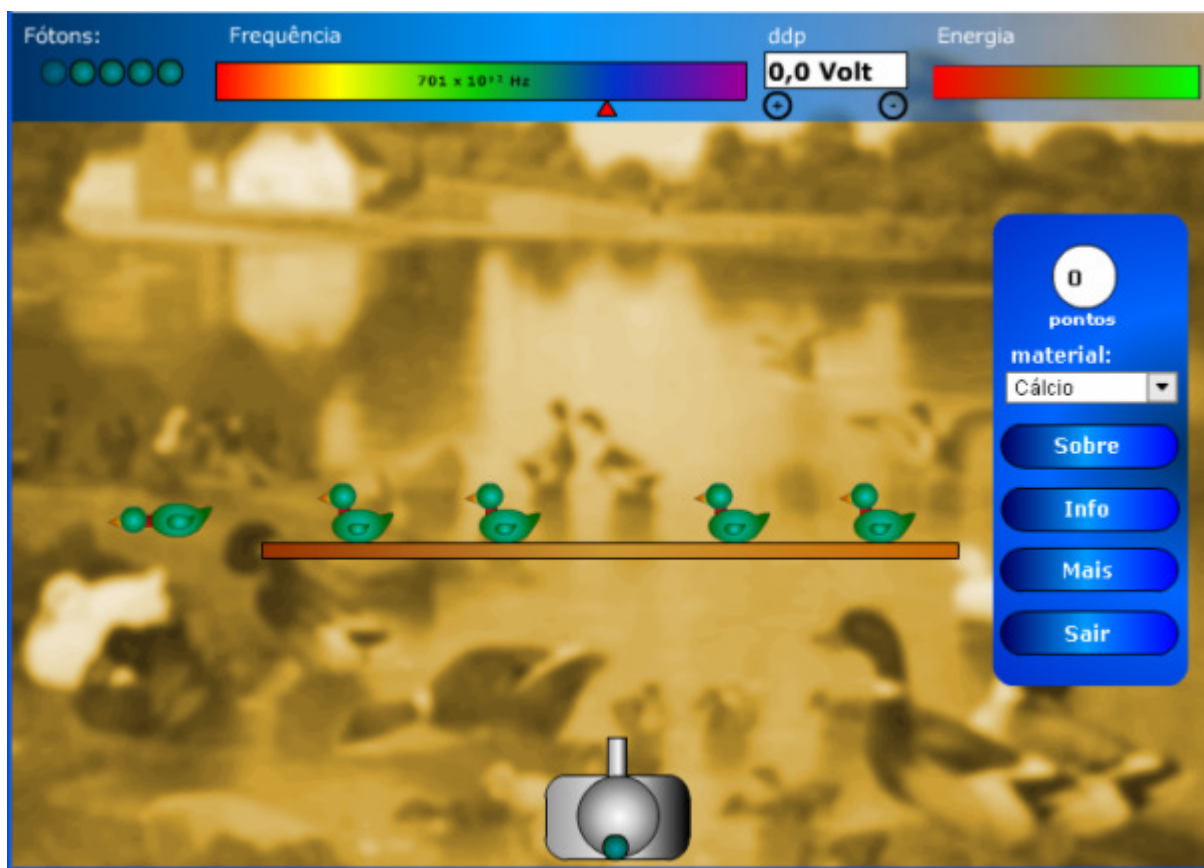
O **Pato Quântico**, desenvolvido e implementado no Macromedia Flash MX (Figura 5.7), tem por objetivo facilitar a compreensão do Efeito Fotoelétrico, que trata da remoção de elétrons de uma superfície metálica quando nela incide luz (fótons) de determinada frequência, fenômeno este devidamente explicado por Einstein em 1905 e tratado no capítulo anterior.



**Figura 5.7** – Versão preliminar do Pato Quântico

A metáfora de patos em constante movimento no poleiro quântico simboliza a natureza dual, onda-partícula, dos elétrons ligados à superfície metálica ou catodo. No canhão de fótons, figura logo abaixo dos patos (Figura 5.7), é possível regular a intensidade da luz fazendo variar o número de fótons-bala. Para tanto, basta clicar nas bolinhas do canto superior esquerdo abaixo do nome “Fótons” na barra de ferramentas, que elas vão se depositando dentro do canhão, como também é possível variar a cor dos fótons alterando sua frequência, barra multicolorida abaixo do nome “Frequência” (Figura 5.8) da barra de ferramentas.





**Figura 5.8** – *Frame do Pato Quântico*

Para movimentar o canhão para a direita ou esquerda e efetuar os disparos, deve-se posicionar e clicar o mouse sobre a base do canhão de fótons. Quanta de luz, ou fótons, representados pelos fótons-bala, serão arremessados na direção dos elétrons-patos.

No quadro destacado em azul, à direita do software, encontram-se opções: Ao clicar em “Sobre”, são fornecidas informações básicas de esclarecimento acerca do jogo (Figura 5.9). O botão “Mais” faz o *link* a páginas *Web* para aprofundamentos teóricos e/ou experimentações e modelagens matemáticas em outros *applets* que tratam do Efeito Fotoelétrico. O botão “Info” fornece a função trabalho dos metais do poleiro quântico, material da barra em que se encontram os elétrons-patos. As opções são: Cálcio, cézio, potássio, platina e sódio (Figura 5.10).

Estas ações, associadas ao Pato Quântico, devidamente mediadas pelo professor, visam a aumentar a compreensão e estruturação do modelo quântico do Efeito Fotoelétrico.



Este quadro azul traz ainda o contador de pontos: para cada elétron-pato que voa são atribuídos 50 pontos, sendo que para cada fóton-bala desperdiçado são abatidos 20 pontos.



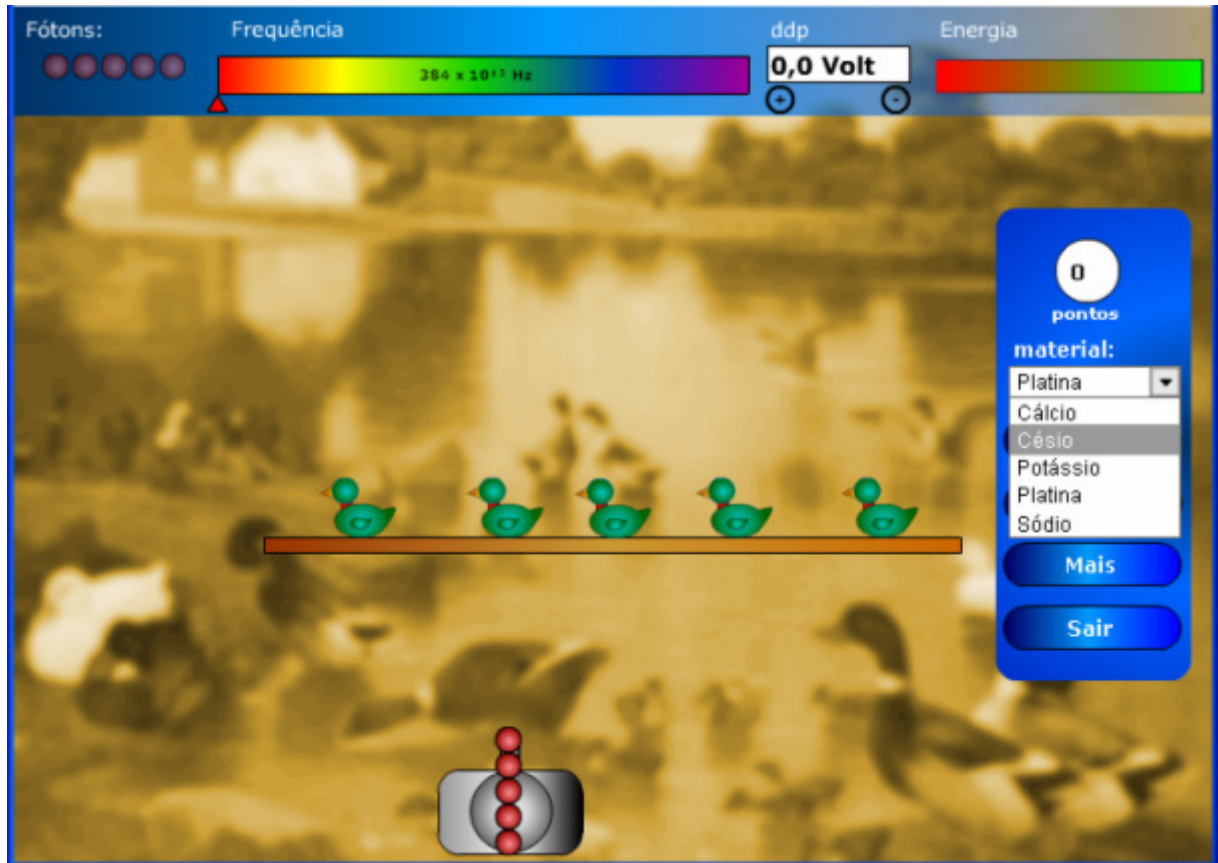
**Figura 5.9** – Botão “Sobre” do Pato Quântico

Como se trata de um jogo, quanto mais elétrons-patos voarem, mais pontos serão feitos. Para tanto, é disponibilizada uma certa quantidade máxima de energia ao usuário/interagente. Na barra bicolor no canto superior direito da barra de ferramentas: Verde simboliza que há energia disponível, vermelho que a energia está cada vez mais escassa (Figura 5.9). Cada fóton-bala utilizado decresce a energia disponibilizada.

Na busca de jogadas mais efetivas, o interagente/aluno buscará fundamentar suas estratégias de jogo e com isto desenvolver sua capacidade cognitiva, que o levará à aprendizagem.

Quanto mais interações/experimentações o usuário/interagente faz, maiores serão suas possibilidades de somar pontos. Isto poderá levá-lo a utilizar e

analisar cada material do poleiro quântico e seu correspondente comportamento frente ao Efeito Fotoelétrico, implicando na compreensão quântica deste fenômeno e o abandono das concepções clássicas.



**Figura 5.10** – Metais disponíveis no botão “material” do Pato Quântico

Espera-se que o jogador descubra ao longo da interação com esta simulação/jogo, que, para a liberação de elétrons-patos, é necessária uma certa energia mínima, intitulada por Einstein de função trabalho, e que esta quantidade mínima depende da cor dos fótons-bala (frequência) e não de sua quantidade (intensidade da luz) como se supunha na Física Clássica.

Espera-se também que essa interação possa resultar numa aprendizagem significativa com eficiente transposição didática dos conteúdos, fortalecimento de mudanças conceituais e interatividade homem-máquina.

### 5.3 TESTANDO A FUNCIONALIDADE DO PATO QUÂNTICO

Nesta seção, testa-se a funcionalidade do objeto de aprendizagem Pato Quântico. A primeira atividade consta do cálculo da constante de Planck e envolve a descoberta de uma frequência mínima, ou frequência de corte, característica de cada metal. A segunda atividade, apresentada como proposta, consiste em encontrar os pares ordenados de frequência e potencial de corte para o traçado de uma reta, que levará à constante de Planck.

#### 5.3.1 Calculando a constante de Planck

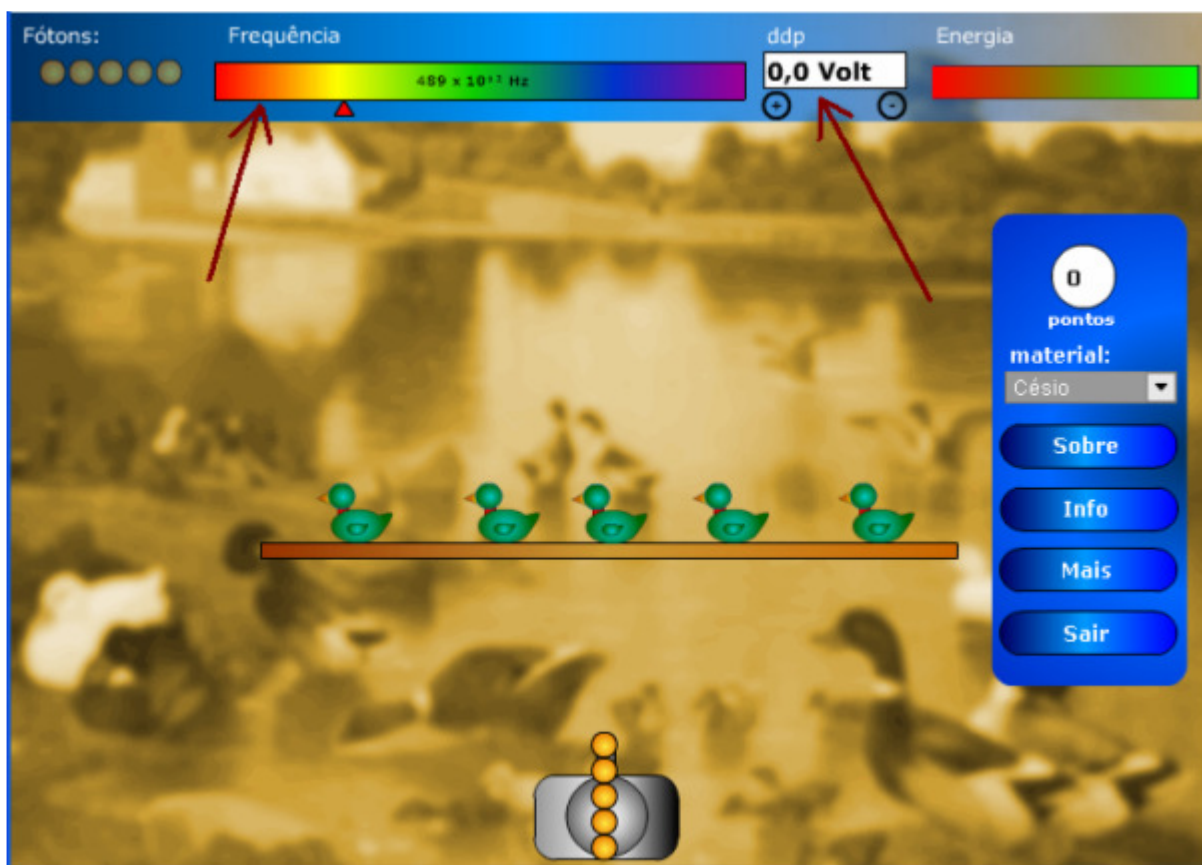
O quadro “ddp”, situado entre “Frequência” e “Energia” (Figura 5.11) da barra de ferramentas, representa o potencial de freamento. Variando o seu valor, encontra-se o potencial de corte  $V_0$ , que se correlaciona à energia cinética máxima com que os elétrons-patos podem se desligar do poleiro quântico.

Como se sabe, existe uma frequência de corte ( $f_{\min}$ ) abaixo da qual não se verifica o Efeito Fotoelétrico. É só fazer  $V_0 = 0$  na equação de Einstein:

$$0 = h \cdot f_{\min} - \phi \Rightarrow f_{\min} = \frac{\phi}{h}$$

O professor pode propor ao aluno, como atividade, descobrir esta frequência mínima, orientando-o da seguinte forma:

- Fixar o material do poleiro quântico, que representa o catodo;
- Municiar o fóton-canhão com qualquer quantidade de fótons-bala;
- Variar gradualmente o cursor que simboliza a frequência mantendo a ddp em zero volt (Figura 5.11 - as setas vermelhas são meramente ilustrativas);
- Testar se arranca ou não os elétrons-patos ao atirar com o fóton-canhão;
- Repetir a operação até conseguir que os elétrons-patos consigam escapar do poleiro quântico com a menor frequência possível.



**Figura 5.11** – Setas indicando o cursor de frequência e o quadro de variação da ddp

Uma vez descoberto o valor da frequência mínima, é só aplicar a equação acima, tomada em função de  $h$ , que representa a constante de Planck em elétrons-Volt . segundos – eV.s, e calcular seu valor, conforme expressão abaixo:

$$h = \frac{\phi}{f_{\min}}$$

No botão “Info” do quadro azul à direita, encontram-se os valores da função trabalho  $\phi$ , em elétrons-volt - eV, para cada material selecionado. Este valor representa a energia mínima necessária para que o elétron-pato desligue-se do poleiro quântico.

Observa-se, após várias tentativas atirando fótons-bala, que a frequência mínima necessária para fazer cada elétron-pato voar do poleiro quântico é de  $509 \cdot 10^{12}$  Hz quando se seleciona o césio como material do poleiro quântico. Este valor de frequência juntamente ao valor da função trabalho para o césio (2,1 eV), consultado no ícone “Info” do software, é então transposto para a expressão acima. O resultado obtido com o auxílio de uma calculadora é  $h = 4,125 \cdot 10^{-15}$  eV.s e está muito próximo de seu real valor que é  $h = 4,136 \cdot 10^{-15}$  eV.s. Esta pequena margem

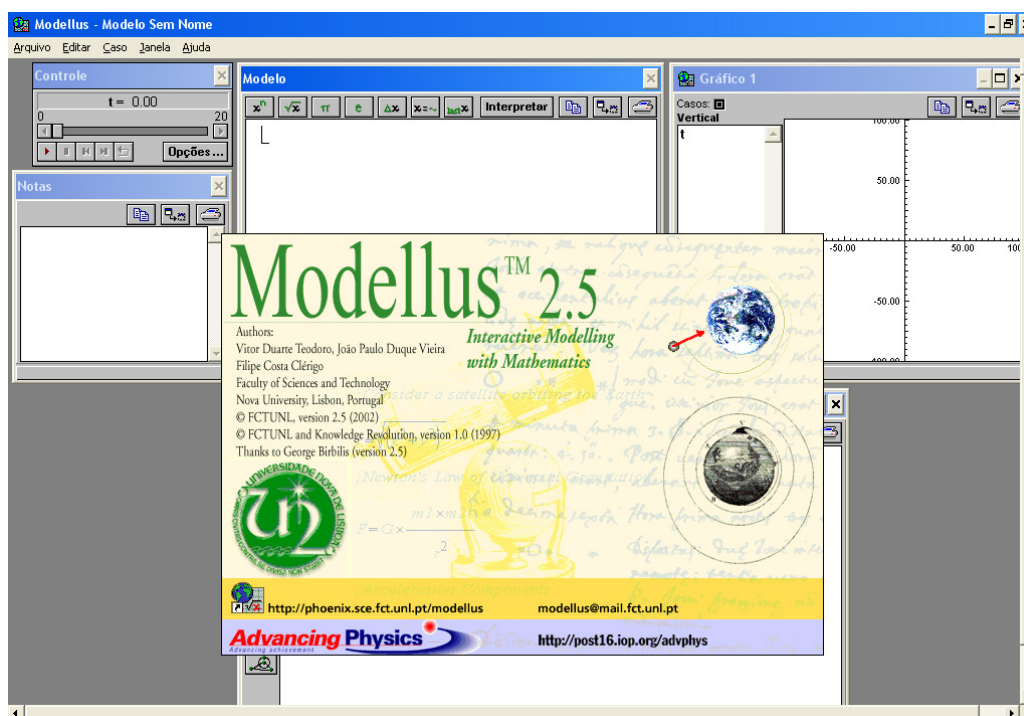
de erro confere à experimentação virtual possibilidades de se levantar suas possíveis causas e a busca do que se fazer para minimizar suas discrepâncias, afinal, em toda medição experimental há margens de erro. Isto confere uma maior similaridade com a experimentação real em laboratórios.

Com este objeto de aprendizagem, calcula-se a constante de Planck, uma das mais importantes constantes da natureza, de forma simples, lúdica e divertida. Isto o diferencia de outros softwares.

A seguir sugerem-se mais atividades em que se propõe calcular o  $h$  de Planck fazendo uso do Pato Quântico com auxílio do que disponibiliza a rede Internet.

### 5.3.2 Outra proposta para calcular a constante de Planck

O software *Modellus*<sup>TM</sup> 2.5 (Figura 5.12), disponível gratuitamente na rede Internet, que trabalha com modelagem matemática, será a ferramenta de interpretação de dados oriundos do Pato Quântico.



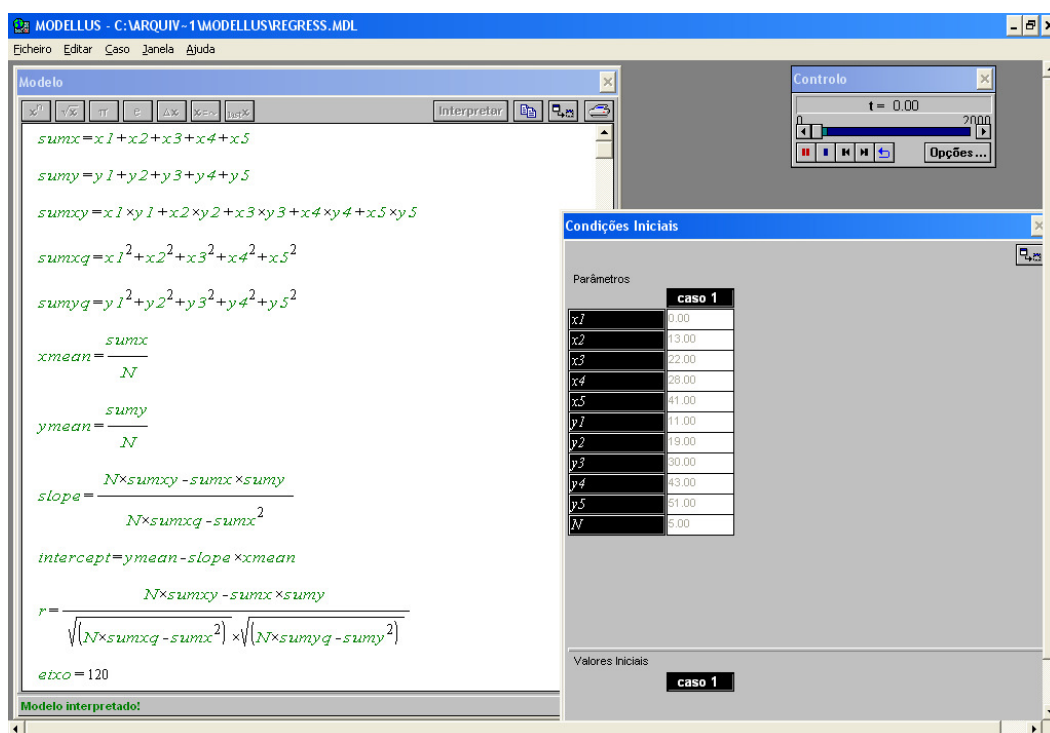
**Figura 5.12** – Tela de abertura do Software *Modellus*<sup>TM</sup> 2.5

Nesta proposta de trabalho com o Pato Quântico, fixa-se um valor arbitrário da frequência em seu cursor. A seguir varia-se o valor da ddp pulsando no



botão mais ou menos da barra de ferramentas até que o pato retorne ao poleiro (Figura 5.11), após ser atingido pelos fótons-bala. Este valor de  $ddp$  corresponde ao potencial de corte  $V_0$ , que, juntamente ao valor da frequência, constitui um par de dados, que deve ser anotado pelo usuário/aluno para posteriormente alimentar o software *Modellus*<sup>TM</sup> 2.5. Repete-se esta operação para obter um maior número de pares ordenados.

Ao programar a janela “modelo” a ser interpretado no *Modellus*<sup>TM</sup> 2.5, será usada a técnica de regressão linear<sup>12</sup>, ou método dos mínimos quadrados (Figura 5.13).



**Figura 5.13** - Software *Modellus*<sup>TM</sup> 2.5 programado para fazer regressão linear

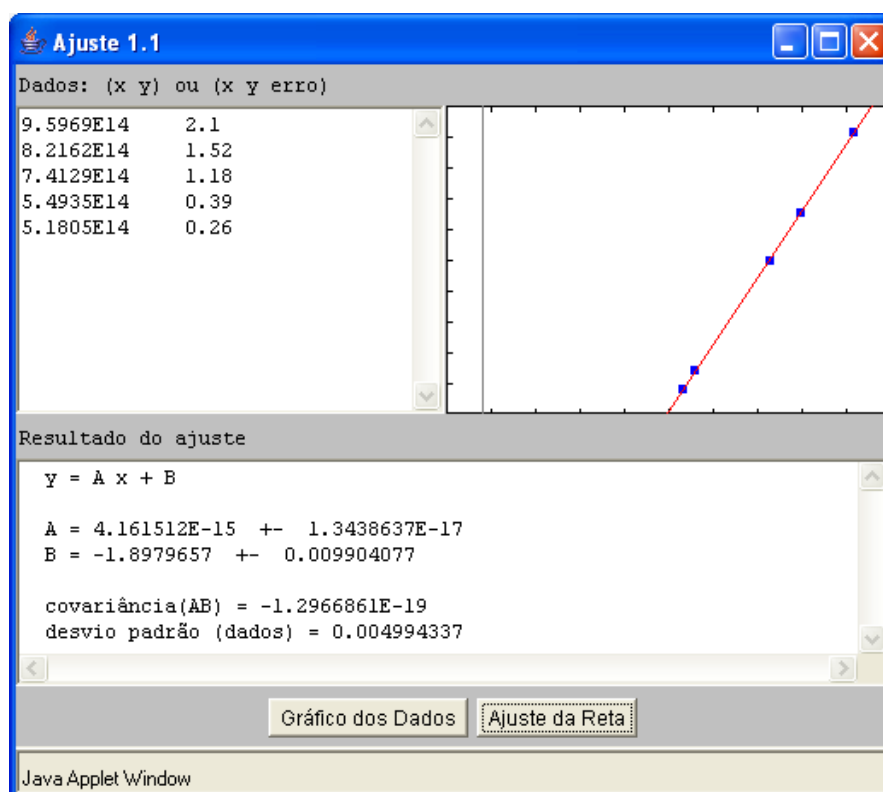
Os pares ordenados de frequência  $f$  e potencial de corte  $V_0$ , devidamente anotados pelo aluno durante a interação com o Pato Quântico, devem ser digitados diretamente na janela “Condições Iniciais” do *Modellus*<sup>TM</sup> 2.5. A seguir, clica-se no ícone “janela” seguido de “novo gráfico”, para finalmente na janela “controle” fazer rodar o modelo ao pulsar “play”. A partir de então, forma-se o gráfico  $f$  versus  $V_0$ , cuja inclinação levará ao valor de  $h$ .

<sup>12</sup> Regressão linear é uma técnica de cálculo numérico que ajusta pares de pontos a uma reta.

Os dados de frequência  $f$  e potencial de corte  $V_0$  também poderiam ser transferidos para o *applet* abaixo (Figura 5.14, os dados que aqui aparecem são puramente ilustrativos), em que de forma idêntica, por meio de regressão linear, faz-se o ajuste de uma reta aos pontos, com a vantagem de não ter que abrir tantas janelas como no *Modellus<sup>TM</sup> 2.5*, pois os pares ordenados  $f$  e  $V_0$  podem ser digitados diretamente ao alimentar o *applet*.

Orientações transcritas abaixo do próprio *applet* indicam como utilizá-lo:

- Os pontos aos quais a reta é ajustada devem ser dados como uma tabela (x, y), ou (x, y, *erro*).
- As casas decimais devem ser indicadas pelo ponto e não pela vírgula (13.25 e não 13,25).
- Pode-se usar a notação científica, como 1.31e-3 ou -2.5E4.
- Em uma linha da tabela os números devem ser separados por um ou mais espaços (*Tab* inclusive). A vírgula também pode ser usada como separador.
- Pode-se fazer *copiar/colar* (*copy/paste*) para a janela de dados.



**Figura. 5.14** - *Applet* de ajuste de reta - Regressão Linear  
 Fonte: <<http://omnis.if.ufrj.br/~carlos/applets/reta/reta.html>>

O próximo passo é clicar no ícone “Gráfico dos Dados”, que prontamente plota os pontos no gráfico situado no canto direito superior. Agora é só clicar em “Ajuste da Reta” que aparecerá a reta ajustada aos pontos, bem como os dados da regressão linear do ajuste no espaço centralizado na parte inferior do *applet*, intitulado “Resultado do Ajuste”.

O resultado é a expressão de uma reta  $y = A x + B$ , que, ao ser comparada à equação de Einstein tomada na forma:  $V_0 = \left(\frac{h}{e}\right) \cdot f - \frac{\phi}{e}$ , leva a concluir serem os parâmetros da reta:  $A = \frac{h}{e}$  e  $B = \frac{\phi}{e}$  numericamente iguais, respectivamente, aos valores da constante de Planck ( $h$ ) e da função trabalho  $\phi$  com suas respectivas margens de erro.

Esta proposta de atividade cumpre o intuito de fazer uso do que está disponibilizado na Internet.

Este capítulo aborda as possibilidades que reservam os softwares educativos para auxiliar na compreensão dos fenômenos quânticos, permitindo ao aluno levantar hipóteses a partir de suas próprias idéias, assim como testá-las no ambiente virtual, o que seria praticamente impossível no mundo real. Desta forma, os modelos explicativos para a natureza, provenientes de uma nova estruturação de conceitos pré-existentes, derivados da Física Clássica, podem se tornar mais plausíveis de compreensão por parte do aluno do ensino médio.

No capítulo a seguir, finaliza-se este trabalho tecendo mais considerações acerca da importância do software educativo **QUANTUM** e seus objetos de aprendizagem.



## 6. CONCLUSÃO

Acredita-se ter cumprido o objetivo maior deste trabalho, que foi o de propor um modelo de software e fazer um teste de funcionalidade em pelo menos um de seus objetos de aprendizagem, contribuindo, assim, com material informatizado para a área da Física Moderna e Contemporânea - **FMC**.

O modelo de software educativo, que portanto se defende, é aquele de simulação com concepção construtivista, que busca a não-linearidade, procura fazer uso de metáforas, tem interface intuitiva, trabalha aspectos lúdicos característico dos jogos, apresenta-se em uma só tela e pode inserir-se durante o tempo de aula do professor.

O **QUANTUM**, como modelo de software educativo, é produto de um trabalho cooperativo que envolveu uma equipe multidisciplinar formada por especialistas em conteúdos, em programação e em educação. Há o propósito de colaborar com a inserção da **FMC** no ensino médio, face à necessidade de desenvolverem-se mais materiais informatizados para este nível de ensino.

Convém ressaltar que, para cumprir os objetivos pré-estabelecidos, esse software apresenta-se como recurso pedagógico a ser utilizado em um ambiente de aprendizagem construtivista. Para tanto, apóia-se na teoria sociocognitiva de Vygotsky, buscando ser um instrumento de mediação que, como linguagem exterior, modela o conhecimento e contribui para sua internalização. Assim sendo, o ato de aprender passa a ser movido por um processo de interação social, na relação entre os atores do processo educativo: professor, aluno e o ambiente de aprendizagem.

Vale enfatizar que, em sua implementação informática, optou-se pela tipologia de software que inclua o caráter lúdico e atrativo, característico dos jogos, nas simulações dos fenômenos físicos de natureza quântica.

O objeto de aprendizagem, Pato Quântico, uma simulação do Efeito Fotoelétrico, foi implementado e testado em relação à sua funcionalidade no cálculo da constante de Planck, obtendo-se resultados satisfatórios. Nesta interação, pode-se, também, suscitar questionamentos acerca da dualidade onda-partícula e quantização de energia, com a hipótese da proporcionalidade entre energia e frequência, estendida por Einstein ao espectro eletromagnético.

A arquitetura deste software é baseada na não-linearidade, fato evidenciado por não apresentar uma seqüência temporal de ações, quando o

usuário está em processo de interação. Frente ao Pato Quântico o usuário pode iniciar por onde ele quiser: municiando o fóton-canhão com o número de fótons-bala que desejar, variando o cursor de frequência conforme sua vontade, alterando a ddp, trocando o material do poleiro quântico, e, ou mesmo, acessando links na Internet, indicados no software para aprofundamentos teóricos.

Mesmo que o planejamento de atividades com objetos de aprendizagem, como o uso do Pato Quântico no cálculo da constante de Planck, venha a ter uma concepção epistemológica construtivista, nada garante que sua aplicação seja igual. O software por si só não constitui um bom recurso de aprendizagem. É necessária a mediação do professor explicitando os objetivos traçados, dinamizando e motivando o ambiente da sala de aula, fazendo valer de forma eficiente o recurso pedagógico encerrado pelo software educativo.

## **6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Como forma de provocar situações de conflito entre as idéias prévias da Física Clássica, que se supõe já possuir o aluno, e os novos modelos quânticos a serem construídos, espera-se que os objetos de aprendizagem possam ser um caminho prazeroso de descobertas e uma via de facilitação do desenvolvimento cognitivo nessas mudanças conceituais. Espera-se também que a construção desses modelos, auxiliada pelas ferramentas computacionais, possa desenvolver uma investigação com rigor científico, quer dizer, uma pesquisa com observação, levantamento de hipóteses, medidas e controle de variáveis, seguida de uma análise de resultados e críticas às suas limitações.

Sugere-se, como metodologia de trabalho, que os objetos de aprendizagem possam ser usados como instrumentos de motivação e contextualização, desde a introdução de cada tópico específico. Sugere-se também que esses objetos possam auxiliar na modelagem matemática concomitantemente, à medida que for sendo explorado um determinado fenômeno físico ao longo da exploração do conteúdo.

Sabe-se que o Pato Quântico é apenas um exemplo, no qual o caráter lúdico do jogo pode tornar-se algo atrativo, despertar, motivar e levar à aprendizagem com satisfação. Entretanto, sabe-se também que nenhum recurso pedagógico, por si só, será suficiente, uma vez que é necessário o engajamento por

parte dos outros atores do cenário pedagógico, visando a transformar a sala de aula em um espaço menos aborrecido. Por isso, assevera-se que o grande desafio para professores e técnicos em educação do século XXI é tornar o ambiente de aprendizagem um espaço agradável e de produção do conhecimento.

Inclui-se neste processo a busca pela autonomia, pois segundo Moran (2000):

Só pessoas livres, autônomas – ou em processo de libertação – podem educar para a liberdade, podem educar para a autonomia, podem transformar a sociedade. [...] O poder de interação não está fundamentalmente nas tecnologias mas em nossas mentes (p.63).

Como tecnologia intelectual espera-se que o modelo de software educativo **QUANTUM** possa satisfazer as necessidades de um laboratório didático, justificando a relação custo-benefício para um ambiente em que se dê a aprendizagem de **FMC**, bem como, que este modelo possa auxiliar o aluno a fazer a devida transposição didática de conceitos cientificamente trabalhados na compreensão dos princípios de funcionamento de equipamentos e aparatos da vida moderna. Desta forma, que venha contribuir para uma nova fase do ensino médio, ao seguir as “mudanças radicais” que sugere Moreira (2000), quando aborda suas perspectivas para o ensino de Física no Brasil: “Física não dogmática, construtivista, para a cidadania, ênfase em modelos, situações reais, elementos próximos, práticos e vivenciais do aluno, do concreto para o abstrato, atualização de conteúdos, Física Contemporânea” (p.98).

Portanto, o **QUANTUM** poderá colaborar para desmitificar o ensino da Física, tida como uma disciplina difícil. Além disso, norteará as ações aqui propostas e espera-se que possibilite uma melhor compreensão dos fenômenos quânticos.

## 6.2 SUGESTÃO DE TRABALHO FUTURO

A inserção da **FMC** no ensino médio encontra barreiras, principalmente com relação a professores despreparados, que há anos viram, na faculdade, a disciplina de Física Moderna. Ainda há aqueles que nunca passaram por um curso de Física e que, portanto, nunca estudaram Física Moderna. Além do que, tais

professores precisam tornar-se menos determinísticos e cartesianos, atitude moldada pela Física Clássica.

Também não será muito fácil para o aluno digerir uma Física em que o caráter probabilístico está presente, afinal ele foi preparado para uma ciência exata, e não da natureza com suas nuances e incertezas.

Para superar isto, é necessário um programa de capacitação continuada dos professores e formação adequada para uso de tecnologias informáticas.

Sugere-se que seja testado o **QUANTUM** com alunos e professores e levantadas as limitações deste modelo. Para tanto, pode-se desenvolver uma metodologia específica para que sejam utilizados os objetos de aprendizagem contidos no software **QUANTUM** e verificar sua relação com a aprendizagem de **FMC**, visto que é preciso fomentar uma mudança conceitual, a partir daquilo já consolidado nas estruturas mentais de nossos alunos. Tratam-se de conhecimentos já adquiridos da Física Clássica ao longo do ensino médio que precisam ser reformulados.

Sugere-se para esta metodologia a fundamentação encontrada em Pozo (1998), ficando como sugestão a denominação de Procedimento Cognitivo Metodológico de Apreensão (PCMA), que deverá ser norteada pelas seguintes fases:

**-Consolidação dos conhecimentos prévios:** certificação de que o aluno já domina e sabe as teorias e conceitos ligados à Física Clássica.

**-Conscientização de conflitos empíricos:** para modificar seus esquemas, o aluno precisa perceber a situação conflitiva entre os conceitos clássicos e os de natureza quântica.

**-Constatação das concepções alternativas:** auxiliado pelo professor, faz-se uma reestruturação teórica na busca de teorias alternativas para melhor justificar o fenômeno em estudo.

**-Comparação com teorias científicas:** formulam-se e apresentam-se as novas teorias advindas com a **FMC**.

**-Convergência para uma mudança conceitual:** auxiliado pelo uso do software **QUANTUM**, o aluno modifica então suas concepções prévias.

Pode-se aplicar esta metodologia em alunos do ensino médio, dividindo-se a turma em duas partes: uma que utilizará o **QUANTUM**, e outra que receberá aulas expositivas/dialógicas sem o uso do software; e para que se possam comparar

seus rendimentos frente às mudanças conceituais, sugere-se confrontar as turmas para uma ampla discussão.

Devido às dificuldades encontradas de implementação do Pato Quântico, que consumiu muito tempo, fica como atividade de refinamento: julgar a real necessidade do contador de pontos, melhorar a aplicação da ddp de tal forma a fazer o pato retornar ao poleiro quântico e efetivar o que está colocado como proposta no item 5.3.2, que trata do uso do Pato Quântico associado a *applets* ou programas disponíveis na rede Internet.

Sugere-se que se desenvolvam mais objetos de aprendizagem voltados à **FMC** para agregar ao software **QUANTUM**. Bem como que se disponibilize o software e seus objetos de aprendizagem na rede Internet, para serem analisados pelo público em geral, que com críticas e sugestões exporão nossas falhas para futuras correções.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, Vírgilio; COWAN, Clyde L.; GRAHAM, B. J. **Curso de Física Moderna**. México: Ed. Harla, 1975.

ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio. **Curso de Física**. 5ª edição. São Paulo: Scipione, 2000.

AMF2005 – Ano Mundial da Física. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/amf/>>. Acesso em: 31 ago. de 2005.

ARRIASSECQ, Irene; GRECA, Ileana. **Enseñanza de la teoría de la relatividad especial en el ciclo polimodal**: dificultades manifestadas por los docentes y textos de uso habitual. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 3 N° 2 (2004). Disponível em: <[http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen3/Numero2/ART7\\_Vol3\\_N2.pdf](http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen3/Numero2/ART7_Vol3_N2.pdf)> Acesso em: 18 jun. 2005.

ARRUDA, J.R.C. **Um Modelo Didático para Enseñanza Aprendizaje de la Física**. Rev. Bras. de Ens. de Física, vol. 25, nº 1, Março, 2003.

BEHRENS, Maria Aparecida. In: MORAN, J. M., Masetto, M. T.; Behrens, M. A. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. Campinas, SP: Papirus, 2000. (Coleção Papirus ducação). p. 67-132.

BISCUOLA, Gualter José; BÔAS, Newton Villas; DOCA, Ricardo Helou. **Tópicos de Física**. 15ª ed. São Paulo: Saraiva, 2001.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: ensino médio: bases legais / Ministério da Educação. - Brasília, 1999.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCNs+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília, 2002.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional** – LDB – Lei N° 9394 de 20 de dezembro de 1996. Disponível em: <[www.mec.gov.br/legis/pdf/lei9394.pdf](http://www.mec.gov.br/legis/pdf/lei9394.pdf)>. Acesso em: 27 fev. 2004.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação (CNE). Câmara de Educação Básica (CEB). **Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio** – DCNEM – Resolução CEB Nº 3 de 26 de junho de 1998.

Disponível em: <<http://www.mec.gov.br/cne/pdf/CEB0398.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2004.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria de Educação a Distância. Departamento de Informática na Educação. **Termo de Referência. Projeto Rived/Fábrica Virtual.** Seleção Pública de Equipes de Produção de Módulos Educacionais Digitais. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.fisica.ufpb.br/~romero/noa/pdf/edital-MEC-rived.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2005.

BRAZ JUNIOR, Dulcídio; MARTINS, Roberto de Andrade. **Física Moderna:** Tópicos para ensino médio. – Campinas: Companhia da Escola, 2002, 1ª edição. 128p.

BRENNAN, Richard P. **Gigantes da Física:** uma história da física moderna através de oito biografias; tradução, Maria Luiza X. de A.Borges; revisão técnica, Hélio da Motta Filho e Henrique Lins de Barros. – Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1998.

CABRAL, Fernando; LAGO, Alexandre. **Física 3.** São Paulo. Editora HARBRA. 2002.

CAMARGO, Antônio José. **A Introdução da Física Moderna no 2º Grau:** Obstáculos e Possibilidades, 01/05/1996, 1v. 208p. Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina – Educação.

CARRAHER, David William (1986). **Educação Tradicional e Educação Moderna.** In: Terezinha Nunes Carraher (Org) Aprender Pensando: contribuições da Psicologia Cognitiva para a Educação. Petrópolis: Vozes, p. 11 a 30.

\_\_\_\_\_. (2001) **A aprendizagem de conceitos com o auxílio do computador.** In: Alencar, Eunice M. S. Soriano (organizadora). Novas Contribuições da Psicologia aos Processos de Ensino e Aprendizagem – 4. ed. – São Paulo: Cortez, 2001.

CARRON, Wilson; GUIMARÃES, Osvaldo. **As Faces da Física. Volume único.** 2ª ed. São Paulo: Moderna, 2002.

CHAVES, Alaor; SHELLARD, Ronaldo Cintra. **Física para o Brasil:** pensando o futuro. O desenvolvimento da Física e sua inserção na vida social e econômica do país. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2005.

CHESMAN, Carlos; ANDRÉ, Carlos; MACÊDO, Augusto. **Física Moderna: experimental e aplicada.** – 2.ed.- São Paulo: Editora da Física, 2004.

CHIQUELTO, Marcos José. **Física:** volume único: ensino médio. – São Paulo: Scipione, 2000. – (Coleção Novos Tempos)

COSCARELLI, Crislaine. **Objetos para aprender fazendo.** Publicado em 10/03/2004 às 02:00. Disponível em: <http://universiabrasil.net/ead/materia.jsp?id=3025>>. Acesso em: 11 dez. 2004.

COELHO, João de Vasconcellos. **Física Moderna no Ensino de Nível Médio,** 01/12/1995, 1v. 135p. Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso – Educação.

FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Aulas de Física:** eletricidade e física moderna, v.3. – 7. ed. Reform. – São Paulo: Atual, 2003.

FERREIRA, Maria Elisa de M. Pires. **A Física Moderna Como Possibilidade de um Novo Currículo,** 01/03/1990, 1v. 148p. Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – Educação (Currículo).

FIOLHAIS, C.; TRINDADE, J. **Física no Computador:** o Computador como uma Ferramenta no Ensino e na Aprendizagem das Ciências Físicas. Rev. Bras. de Ens. de Fís. São Paulo, v. 25, n. 3, setembro 2003.

FREIRE, Paulo. **Ação cultural para a liberdade.** 5ª ed., Rio de Janeiro, Paz e Terra. 1981.

GASPAR, Alberto. **Física** – Eletromagnetismo/Física Moderna. São Paulo: Ed. Ática, 2000.

GIRAFFA, Lucia M. M.; MORAES, Márcia C. (2003). **A Utilização de Técnicas de IA no Projeto de Ambientes Educacionais Computadorizados.** In: Ramos, Edla Maria Faust (Org.) et al. **Informática na escola:** um olhar multidisciplinar. Fortaleza: Editora UFC, p. 108-135.

GUEDES, Gilleanes T. A. **UML – Uma Abordagem Prática.** São Paulo: Novatec Editora, 2004.



GUIMARÃES, Luiz Alberto; BOA, Marcelo Cordeiro Fonte. Coleção **Física**. Ilustrações Marcelo Pamplona. – Niterói, RJ: Futura, 2004.

LÉVY, Pierre. **Cibercultura**. Trad. De Carlos Irineu da Costa. São Paulo: Ed. 34, 1999. 264 p. (Coleção TRANS).

\_\_\_\_\_. **As Tecnologias da inteligência**; tradução de Carlos Irineu da Costa. – Rio de Janeiro: Ed. 34, 1993. 208p. (Coleção Trans).

LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da; ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. **Física: volume único**. – São Paulo: Scipione, 2003. – (Coleção de Olho no Mundo do Trabalho).

MACHADO, N. J. **Epistemologia e Didática**. As concepções de conhecimento e inteligência e a prática docente. 5ª edição. Cortez Editora. 2002.

MEDEIROS, Alexandre. **Entrevista com Einstein** - Dos Mistérios da Física Clássica ao Nascimento da Teoria Quântica. Física na Escola, v. 6, n. 1, p. 88-94, 2005.

MEDEIROS, Alexandre; MEDEIROS, Cleide Farias. **Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da Física**. Rev. Bras. de Ens. de Fís. São Paulo, v. 24, n. 2, junho 2002.

MILHOLLAN, Frank; FORISHA, Bill E. **SKINNER X ROGERS**: maneiras contrastantes de encarar a educação. Tradução de Aydano Arruda. 3. ed. São Paulo: Summus, 1978.

MORAES, Maria Cândida. **O paradigma educacional emergente**. Campinas, SP. Papirus, 1997.(Coleção Práxis).

MORAN, José Manuel, Masetto, Marcos T.; Behrens, Marilda Aparecida. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. Campinas, SP: Papirus, 2000. (Coleção Papirus ducação). P.173.

MOREIRA, M. A. **Ensino de Física no Brasil**: retrospectiva e perspectiva. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 94-99, mar. 2000.

OLIVEIRA, Celina Couto de; COSTA, José Wilson; MOREIRA, Mércia. **Ambientes Informatizados de Aprendizagem**: Produção e Avaliação de Software Educativo. Campinas/SP. Papirus, 2001. (Série Prática Pedagógica).

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, M. A. **Uma Revisão Bibliográfica sobre a área de Pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”**. Investigações em Ensino de Ciências, vol. 5, n. 1. Dezembro, 2000. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n1/v5\\_n1\\_a2.htm](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n1/v5_n1_a2.htm)>. Acesso em: 02 nov. 2004.

PAGE-JONES, Meilir. **Fundamentos do Desenho Orientado a Objeto com UML**. Tradução: Celso Roberto Paschoa. Revisão técnica: José Davi Furlan. Makron Books. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2001.

PAPERT, S. **Logo: Computadores e Educação**. Trad. José Armando Valente, Beatriz Bitelman, Asira Vianna Ripper. São Paulo: Editora Brasiliense S.A, 1986.

\_\_\_\_\_. **A Máquina das Crianças – Repensando a Escola na Era da Informática**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994. p. 123-138.

PARANÁ, Djalma Nunes da Silva -. **Física: série novo ensino médio**. Edição Compacta. São Paulo: Ed. Ática, 2003.

POZO, Juan Ignácio. **Teorias cognitivas da aprendizagem**. Trad. Juan Acunã Llorens – 3. ed. – Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

RAMAL, Andréa Cecília. **Educação na cibercultura: hipertextualidade, leitura, escrita e aprendizagem**. Porto Alegre: Artmed, 2002.

RAMALHO JUNIOR, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Os fundamentos da física 3**. – 8. ed. e ampl. – São Paulo: Moderna, 2003.

RBEF. Editorial. **Um novo projeto da SBF: Física para o Brasil – Pensando o futuro do ensino de física no País**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v.25, n. 3, setembro 2003.

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David. **Física 4**. tradução de Antônio Luciano Leite Videira[et all]; coordenação de Nicim Zagury. - 3. ed. - Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1981.

RICARDO, Elio Carlos. **Implementação dos PCN em sala de aula: Dificuldades e Possibilidades**. Física na Escola, v.4, n.1, p. 8-11, 2003.

ROHLF, James William. **Modern Physics from [  $\alpha$  ] to  $Z^0$** . 1 st ed. John Wiley & Sons, Inc, 1994.

RUMBAUGH, J., JACOBSON, I. e BOOCH, G. ***The Unified Modelling Language Reference Manual***. Addison Wesley Longman, 1999.

SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA, Caio Sérgio. **Universo da Física, 3**. São Paulo: Atual, 2001.- (Coleção Universo da Física).

\_\_\_\_\_. **Física/Sampaio & Calçada**. – São Paulo: Atual, 2003.

SEGRÈ, Emilio. **Dos raios X aos quarks**. Trad. de Wamberto H. Ferreira. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 1987.

SILVA, César José da. **O Efeito Fotoelétrico**: Contribuições ao Ensino da Física Contemporânea no Segundo Grau, 01/02/1994, 1v. 135p. Mestrado, Universidade de São Paulo – Ensino de Ciências (Modalidade Física e Química).

SOUZA, André Maurício Conceição de. **Tópicos de Física Contemporânea para o Ensino Médio**: incluindo teoria da relatividade, mecânica quântica e teoria do caos. Sergipe: M. C. de Souza, 2002.

STACHEL, John (organização e introdução). **O ano miraculoso de Einstein**: cinco artigos que mudaram a face da física. Assistência de Trevor Lipscombe, Alice Calaprice e Sam Elworthy; tradução de Alexandre Carlos Tort. - Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2001.

\_\_\_\_\_. **Artigos de Einstein e ensaios sobre sua obra**. 1905 e tudo mais. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.27, n. 1, p. 5-9, 2004. Disponível em: <[www.sbfisica.org.br](http://www.sbfisica.org.br)>. Acesso em: 23 jun. 2005.

STADZISZ, Paulo Cezar. **Projeto de Software usando a UML**. Apostila de UML do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Versão 2002. Disponível em: <<http://www.cpgei.cefetpr.br/~stad/EngSoft.html>>. Acesso em 07 nov 2005.

TAVOLARO, Cristiane R. C.; CAVALCANTE, Marisa A. **Física Moderna Experimental**. Barueri, São Paulo: Manole, 2003.

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. **Perspectivas Para a Inserção da Física Moderna na Escola Média**, 01/10/94, 1v. 241p. Doutorado, Universidade de São Paulo – Educação.

TIPLER, Paul A. **Física Moderna**; traduzido por Yashiro Yamamoto (coordenador) et al.; Rio de Janeiro - RJ. Editora Guanabara Dois S. A. 1981.

TIPLER, Paul A; LLEWELLYN, Ralph A. **FÍSICA MODERNA**; Traduzido por Ronaldo Sérgio de Biasi; Rio de Janeiro – RJ. LTC Editora. 2001.

TORRES, Carlos Magno Azinaro; FERRARO, Nicolau Gilberto; PENTEADO, Paulo César Martins; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Física: Ciência e Tecnologia**: Volume único. São Paulo: Moderna, 2001.

VALENTE, José Armando (organizador). **O Computador na Sociedade do Conhecimento**. UNICAMP/NIED. Campinas/SP.1999.

\_\_\_\_\_. **Computadores e Conhecimento**: Repensando a Educação. Campinas/SP, UNICAMP/NIED, p.1-53, 1998.

VYGOTSKY, L. **A formação social da mente**: O desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. Organizadores Michael Cole...[et al]; tradução José Cipolla Neto, Luís Silveira Menna Barreto, Solange Castro Afeche. -6ª ed. - São Paulo: Editora Martins Fontes, 1998 a.- (Psicologia e pedagogia).

\_\_\_\_\_. **Pensamento e Linguagem**. Tradução Jefferson Luiz Camargo; revisão técnica José Cipolla Neto – 2º ed. – São Paulo: Martins Fontes, 1998 b. – (Psicologia e pedagogia).

WILEY, D. A. (2000). **Connecting learning objects to instructional design theory**: A definition, a metaphor, and a taxonomy. In D. A. Wiley (Ed.), The instructional use of learning objects (pp. 1-35). Disponível em: <<http://www.reusability.org/read/chapters/wiley.doc>>. Acesso em 11 dez 2004.

YOUNG, Hugh D. ; FREEDMAN, Roger A.; Sears e Zemansky **física IV: ótica e física moderna**; colaboradores T. R. Sandin, A. Lewis Ford; tradução e revisão técnica Adir Moysés Luiz. - São Paulo: Addison Wesley, 2004.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALAVA, Séraphin (Organizador). **Ciberespaço e formações abertas:** rumo a novas práticas educacionais? Trad. Fátima Murad - Porto Alegre: Artmed, 2002.

ALENCAR, Eunice M. S. Soriano (organizadora). **Novas Contribuições da Psicologia aos Processos de Ensino e Aprendizagem** – 4. ed. – São Paulo: Cortez, 2001.

BONDI, Hermann. **Conjetura e Mito na Física.** Trad de Paulo César de Moraes. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2ª ed., 1997.

CAPRA, Fritjof. **O ponto de Mutação** – a ciência, a sociedade e a cultura emergente. Ed Cultrix. São Paulo/SP. 1982.

DANTAS, Heloysa. **A Infância da Razão** – Uma Introdução à Psicologia da Inteligência de Henri Wallon. São Paulo/SP. Manole Dois.1990.

FLAVELL, J. H., MILLER, P. H. & MILLER, S. A. **Desenvolvimento Cognitivo.** Porto Alegre. Artes Médicas, 3ª Edição, 1999.

Gomes, A. S., Tedesco, P. e Castro Filho, J. A. (2003). **Ambientes de Aprendizagem em Matemática e Ciências.** In: Ramos, Edla Maria Faust (Org.) et al. **Informática na escola:** um olhar multidisciplinar. Fortaleza: Editora UFC, p. 108-135.

HAWKING, Stephen. **O universo numa casca de noz.** Trad. de Ivo Korytowsky. São Paulo: Mandarin, 2001.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem.** São Paulo: EPU. 1999.

PONTE, João Pedro da. **Tecnologias de informação e comunicação na formação de professores:** Que desafios? Revista Iberoamericana de Educacion: Organización de Estados Iberoamericanos (OEI). N. 24. TIC em la educación. Setembro - Dezembro 2000. Disponível em: <<http://www.campus-oei.org/revista/rie24a03.htm>>. Acesso em: 19 jan. 2004.

OLIVEIRA, M. K. de. **Vigotsky: aprendizado e desenvolvimento:** um processo sócio-histórico. São Paulo: Scipione, 4ª ed.- 1998

PIAGET, Jean. **Seis estudos de psicologia**. Tradução Maria Alice Magalhães D'Amorim e Paulo Sérgio Lima Silva. 23ª edição. Rio de Janeiro. Forense Universitária, 1998.

PIAGET, Jean; INHLEDER, Barbel. **A Psicologia da Criança**. Tradução de Octavio Mendes Cajado. São Paulo. DIFEL. 1986. 9ª Edição.

RAPPAPORT, C. R., FIORI, W. R. e DAVIS, C. **Psicologia do Desenvolvimento – Teorias do desenvolvimento – Conceitos fundamentais** – vol. 1 - São Paulo:

RICARDO, Elio Carlos. **As relações com os saberes nas Situações Didáticas e os Obstáculos à Aprendizagem**. Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física. p. 586-592.

Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xv/atas/>>. Acesso em: 23 jan. 05.

SILVA, Marcos (org). **Educação Online**. São Paulo: Loyola, 2003.

VEIT, E. A.; 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, São Paulo, v. 24, n. 2, jun. 2002.

ZYLBERSZTAJN, Ardem. **Teoria Final, Unificação e Reducionismo**: Opiniões da Comunidade Brasileira de Física. Rev.Bras. de Ens. de Física, v. 25, nº 1, Março, 2003.

## **ANEXOS**

**ANEXO A - Função Trabalho para o Efeito Fotoelétrico**

Elemento	Função Trabalho(eV)
Alumínio	4,08
Berílio	5,0
Cádmio	4,07
Cálcio	2,9
Carbono	4,81
Césio	2,1
Chumbo	4,14
Cobalto	5,0
Cobre	4,7
Ferro	4,5
Magnésio	3,68
Mercúrio	4,5
Níquel	5,01
Nióbio	4,3
Ouro	5,1
Potássio	2,3
Platina	6,35
Prata	4,73
Selênio	5,11
Sódio	2,28
Urânio	3,6
Zinco	4,3

Fonte: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>>

Acessado em: 22 abr. 2005



**ANEXO B - Espectro de emissão de alguns metais**  
**Comprimento de onda em nanometros (nm)**

<b>Alumínio</b> (arco)	<b>Cobre</b> (arco no vácuo)	<b>Mercúrio</b> (lâmpara de arco)	<b>Sódio</b> (em chama)	<b>Cádmio</b> (arco)	<b>Zinco</b> (arco no vácuo)
3083	3248	3126	<b>5890</b>	3261	3036
3093	3274	3131	<b>5896</b>	3404	3072
3944	4023	3650		3466	3345
<b>3962</b>	4063	4047		3611	4680
4663	<b>5105</b>	<b>4358</b>		3982	4722
5057	<b>5153</b>	4916		4413	4811
5696	<b>5218</b>	4960		4678	<b>4912</b>
5723	<b>5700</b>	<b>5461</b>		<b>4800</b>	4925
	<b>5782</b>	<b>5770</b>		<b>5086</b>	<b>6103</b>
		<b>5791</b>		5338	6332
		6152		5379	
		6232		<b>6438</b>	

Os valores em negrito correspondem ao maior brilho

Fonte:

<<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/fotoelectrico/fotoelectrico.htm>>

Acessado em: 14 jun.2005