UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
CAMPUS DE BAURU
PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA

Fabiana Carlos Pinto de Almeida

UMA ALTERNATIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA QUÂNTICA INTRODUTÓRIA, NUMA PERSPECTIVA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE 'FÍSICA CON ORDENADOR' E DE MAPAS CONCEITUAIS

Bauru
2004



Cód. Capes - 70804003 - Ensino-aprendizagem (A)
- Física - Estudo e ensino

Número de chamada
Clas. T/UNESP
PHA A446a
Tombo n.º 201

Fabiana Carlos Pinto de Almeida

UMA ALTERNATIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA QUÂNTICA INTRODUTÓRIA, NUMA PERSPECTIVA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE 'FÍSICA CON ORDENADOR' E DE MAPAS CONCEITUAIS

BIBLIOTECA - UNESP - CÂMPUS BAURU

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, da Área de Concentração em Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências da UNESP/Câmpus de Bauru, como requisito à obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência, sob a orientação do Prof. Dr. Aguinaldo Robinson de Souza.

Bauru
2004

Ficha catalográfica elaborada por
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP – Bauru

Almeida, Fabiana Carlos Pinto de
Uma alternativa para o ensino de física quântica introdutória numa perspectiva de aprendizagem significativa através da utilização do software 'física com ordenador' e de mapas conceituais / Fabiana Carlos Pinto de Almeida. - - Bauru : [s.n.], 2004.
212 f..

Orientador: Aguinaldo Robinson de Souza.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, 2004.

1. Ensino de física quântica introdutória. 2. Simulação computacional. 3. Aprendizagem significativa. 4. Mapas conceituais. I – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II - Título.

Fabiana Carlos Pinto de Almeida

UMA ALTERNATIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA QUÂNTICA INTRODUTÓRIA, NUMA PERSPECTIVA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE 'FÍSICA CON ORDENADOR' E DE MAPAS CONCEITUAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, da Área de Concentração em Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Bauru, para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Banca Examinadora:

Presidente: Prof. Dr. Aguinaldo Robinson de Souza
Instituição: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. UNESP, Bauru.

Titular: Prof. Dr. Roberto Nardi
Instituição: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. UNESP, Bauru.

Titular: Prof. Dr. Marco Antonio Moreira
Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS.

Bauru, 05 de março de 2004.



Dedico:

Ao meu querido esposo Edson,

pelo amor, paciência e grande incentivo dado durante este percurso.

Aos meus pais Luiz e Zenaide,

pela formação inicial

E a Deus,

por permitir que estivesse aqui hoje.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao mentor inicial desta pesquisa e meu orientador, o professor Dr. Aguinaldo Robinson de Souza; ao professor Dr. Pablo A. Venegas Urenda, do depto. de Física da Faculdade de Ciências, pela disposição e atenção dedicados a este trabalho e por permitir minha participação em suas aulas. Agradeço também aos alunos, que gentilmente participaram deste trabalho, aos funcionários do Laboratório Didático de Computação da Faculdade de Ciências, que cooperaram com a instalação de programas e apoio técnico durante a utilização do laboratório, com destaque aos funcionários da Pós-graduação, especialmente a Ana e a Andressa, que sempre me atenderam com pronta disposição e alegria.

Em especial, gostaria de agradecer a todos os professores do corpo docente, principalmente ao professor Dr. Roberto Nardi e a professora Dra. Ana Maria Caldeira, que fizeram parte de minha formação, colaborando, portanto, com a construção deste trabalho. E à Capes pelo apoio financeiro dado à pesquisa.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

ALMEIDA, F. C. P. de. Uma **alternativa para o ensino de Física Quântica Introdutória, numa perspectiva de aprendizagem significativa, através da utilização do *software* 'Física con Ordenador' e de Mapas Conceituais**. 2003. 212f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciências). Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2003.

RESUMO

A origem deste trabalho relata o desenvolvimento de uma proposta de ensino de Física Quântica, com a inserção de um determinado *software* de simulação computacional, ocorrida a partir da busca pelo professor da disciplina Estrutura da Matéria I, ao repensar o processo de ensino e aprendizagem, com base em sua experiência didática. O tema pesquisado foi o Efeito Fotoelétrico, no curso de Licenciatura em Física. A Aprendizagem Significativa, proposta por Ausubel direcionou a análise desta pesquisa. Foram utilizados como recurso avaliativo, os mapas conceituais. Com o decorrer de nossa investigação, observamos o surgimento de alguns fatores relevantes envolvidos neste processo de ensino e aprendizagem, tais como a nova postura do professor, a reação dos alunos durante o trabalho com simulação e o efeito dos mapas conceituais como recurso avaliativo.

Palavras-chave: Ensino de Física Quântica, Simulação Computacional, Aprendizagem Signficativa, Mapas Conceituais.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

ABSTRACT

The begining this work dircourse about development of the teaching working Quantum Phisics, with the insert any simulation computacional software, ocurred the begin searching of the teacher of "*Estutura da Matéria I*", to the thinking again about the teaching and learning process, based on his didatic experience. The focus was the experience of Photoelectric Efect Fenomena, in the course of Phisics Graduate for Teaching. Ausubel's Meaningful Learning directions the analises this research. Were used how assessment device the conceptual maps. Along the time, we noticed the increase some relevant factors involved in this theaching and learning process, such as, the new face of teaching, the reaction of the class around the work with simulation and the results of the conceptual maps withing assessment device.

Key-word: Quantum Phisics teaching, Computational Simulation, Meaningful Learning, Conceptual Maps,.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Aparelho usado para estudar o efeito fotoelétrico 29

Figura 2 – Gráfico da corrente (*i*)em função da voltagem (*V)* 30

Figura 3 – Um gráfico das medidas de Milikan do potencial limite no sódio em várias freqüências 31

Figura 4 - Exemplo de um Mapa Conceitual que descreve a estrutura de Mapas Conceituais 44

Figura 5: Esquema de um exemplo de mapa conceitual para pontuação 51

Figura 6 - Primeira tela do experimento do Efeito Fotoelétrico. 55

Figura 7 – Segunda tela do experimento do Efeito Fotoelétrico 55

Gráfico 1: Análise de questionário aberto (ANEXO II) sobre o Efeito Fotoelétrico após o trabalho com simulação 99

Figura 8: Mapa Conceitual original sobre o Efeito Fotoelétrico elaborado por *Ag* 106

Figura 9: Remodelação do Mapa Conceitual sobre o Efeito Fotoelétrico, por *Ag* 107

Figura 10 - Mapa conceitual elaborado por *A* 110

Figura 11 - Mapa conceitual elaborado por *Ad* 112

Figura 12 - Mapa conceitual elaborado por *Ag* 114

Figura 13 - Mapa conceitual elaborado por *C* 116

Figura 14 - Mapa conceitual elaborado por *Cm* 118

Figura 15 - Mapa conceitual elaborado por *E* 120

Figura 16 - Mapa conceitual elaborado por *F* 122

Figura 17 - Mapa conceitual elaborado por *K* 124

Figura 18 - Mapa conceitual elaborado por *R* 126

Figura 19 - Mapa conceitual elaborado por *Rt* 127

Gráfico 2: Desvios de Valores em relação à mediana desta turma 130

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Figura 20 - Mapa conceitual padrão, construído pelo Professor da disciplina em novembro de 2003 133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pontuação para mapas conceituais, de acordo com os critérios classificatórios propostos por Novak 50

Tabela 2 - Pontuação para o mapa conceitual da Figura 5, de acordo com os critérios de Novak 51

Tabela 3: Mediana da Pontuação obtida pela turma no mapa conceitual –grau de coerência 105

Tabela 4: Pontuação do primeiro mapa conceitual elaborado por *Ag* 108

Tabela 5: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *A* 110

Tabela 6: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *Ad* 112

Tabela 7: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *Ag* 114

Tabela 8: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *C* 116

Tabela 9: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *Cm* 118

Tabela 10: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *E* 120

Tabela 11: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *F* 122

Tabela 12: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *K* 124

Tabela 13: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *R* 126

Tabela 14: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *Rt* 127

Tabela 15: Comparação entre índice de acertos, grau de coerência e representação esquemática do trabalho com simulação computacional 131

Tabela 16: Resumo dos conceitos-chave apresentados nos mapas dos alunos, em relação ao mapa padrão 134

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	8
LISTA DE TABELAS	10
1 INTRODUÇÃO	14
2 O ENSINO DE FÍSICA NOS CURSOS DE LICENCIATURA	17
2.1 Concepções dos estudantes do ensino superior sobre Mecânica Quântica	20
2.2 Críticas à abordagem tradicional dos cursos introdutórios de Mecânica Quântica	22
2.3 Propostas didáticas para o nível universitário	24
3 O CONCEITO DO EFEITO FOTOELÉTRICO	28
4 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	35
4.1 O processo de Aprendizagem	36
4.1.1 O Significado de Aprendizagem Significativa	38
4.1.2 Tipos de Aprendizagem Significativa	39
4.1.3 Aprendizagem Significativa: Assimilação	41
4.1.4 Organizadores Prévios	41
4.1.5 Aprendizagem na estrutura cognitiva	42
4.2 MAPAS CONCEITUAIS	43
4.2.1 Como recurso de ensino	44
4.2.2 Como recurso de avaliação	46
4.2.3 Roteiro de aplicação dos mapas conceituais na graduação	46
4.2.4 Classificação dos mapas conceituais	48
5 METODOLOGIA DA PESQUISA	52

unesp

5.1 Primeira parte da pesquisa 52

5.1.1 O *Software* utilizado para a simulação do Efeito Fotoelétrico 54

5.1.2 Laboratório Didático de Computação da Faculdade de Ciências (LDC/FC) 55

5.2 Segunda parte da pesquisa 56

5.2.1 O *software* IHMC Cmap Tools 58

6 AÇÕES DESENVOLVIDAS 59

6.1 Primeira parte da pesquisa 59

6.1.1 Observação das aulas convencionais 59

6.1.2 Descrição da aula do Efeito Fotoelétrico no LDC/FC 63

6.1.2.1 Público-Alvo e Local 63

6.1.2.2 Descrição da primeira parte da aula sobre o Efeito Fotoelétrico no LDC/FC 64

6.1.2.2.1 Algumas dificuldades dos alunos durante as atividades da primeira parte da aula 67

6.1.2.3 Transcrição das atividades da segunda parte da aula 68

6.1.2.3.1 Observação da pesquisadora 94

6.1.2.4 Questionário aberto sobre a compreensão do Efeito Fotoelétrico 98

6.2 Segunda Parte: o trabalho com mapas conceituais 101

6.2.1 Público-alvo avaliado 101

6.2.1.1 Descrição da aula 103

6.2.2 Pontuação dos Mapas Conceituais 103

6.2.2.1 Um exemplo descritivo de nossa análise e classificação dos Mapas Conceituais 106

6.2.3 Mapas construídos pelos alunos 109

6.2.4 Classificação dos alunos em relação à média conceitual desta turma sobre o Efeito Fotoelétrico 129

6.2.5 Comparação entre a primeira e segunda parte da pesquisa 130

6.2.6 Mapa conceitual "padrão" 132

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 135

7.1 Construção de modelo explicativo para os fenômenos quânticos 136

7.2 Mapas conceituais como recurso de avaliação da aprendizagem efetiva 138

7.3 Considerações feitas pelo professor sobre nossa participação 140

7.4 Sugestões para trabalhos futuros 145

REFERÊNCIAS 147

ANEXO I - PERFIL DOS ALUNOS 153

ANEXO II – ROTEIRO UTILIZADO NA SIMULAÇÃO DO "EFEITO FOTOELÉTRICO" 154

ANEXO III - QUESTIONÁRIO ABERTO, "ANTES" DA SIMULAÇÃO 156

ANEXO IV - QUESTIONÁRIO ABERTO, "DEPOIS" DA SIMULAÇÃO 169

ANEXO V – APRESENTAÇÃO TEORIA MAPAS CONCEITUAIS 185

ANEXO VI – APOSTILA SOBRE MAPAS CONCEITUAIS 191

ANEXO VII - ENTREVISTA COM PROFESSOR DA DISCIPLINA ESTRUTURA DA MATÉRIA I 202

1. "... o fator mais importante influenciando a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; determine isso e ensine-o de acordo". (Ausubel, 1980, p.294)

1 INTRODUÇÃO

A frase acima de Ausubel ao se referir como sendo o ponto referencial que orientará o ensino a ser desenvolvido pelo professor, conhecer aquilo que o aluno já sabe, apresenta como pano de fundo várias relações que envolvem o ensino e a aprendizagem. Pode parecer simples, mas a idéia envolvida por trás desta frase revela um mundo complexo, marcado por relações entre professores e alunos dentro de um contexto, envolvendo um processo de ensino e aprendizagem.

A origem deste trabalho relata o desenvolvimento de uma proposta de ensino de Física Quântica, com a inserção de um determinado *software* de simulação computacional, que ocorreu a partir da busca pelo professor da disciplina Estrutura da Matéria I, da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, ao repensar o processo de ensino e aprendizagem, com base em sua experiência didática.

No momento em que nós (pesquisadora e orientador) discutíamos sobre a proposta da inserção da simulação computacional, tivemos a grande oportunidade oferecida pelo professor da disciplina Estrutura da Matéria I, para trabalhar durante alguns momentos de suas aulas. A oportunidade oferecida por este professor surgiu das dúvidas que este afirmou ter frente ao processo de ensino e aprendizagem, que ele observou pelas dificuldades de aprendizagem apresentadas pelos alunos em aulas de semestres anteriores, ministradas sobre os tópicos iniciais de Física Quântica

A formação deste professor é em Física Teórica (desde a graduação até o pós--Doutorado) ou seja, na graduação só teve disciplinas das áreas ditas "duras", pois não teve nenhuma disciplina, enquanto aluno, nas áreas de Didática, Prática de Ensino, Metodologia de

Ensino, entre outras. Sua experiência nestas áreas estava refletida em sua prática diária em sala de aula, lecionando a disciplina Estrutura da Matéria I e II.

Com o intuito de facilitar a compreensão dos alunos, o professor acreditava que a visualização dos experimentos quânticos, através de simulação computacional, poderia ser uma boa alternativa para auxiliar suas aulas.

A situação expressa por este professor veio ao encontro de nossa busca em investigar a inserção de simulação computacional no ensino de Física Quântica. Inicialmente, tínhamos o interesse em investigar o uso do *software* VQM (Visual Quantum Mechanics) (THALLER, 2000) para trabalhar com simulações em Mecânica Quântica. Porém, optamos por trabalhar com o programa que estava disponibilizado por um curso interativo, chamado FcO (Física con Ordenador) (GARCIA, 1998) que foi sugerido pelo próprio professor. Esta escolha foi apoiada no fato de o programa VQM requisitar o uso de ferramentas matemáticas complexas para a realização dos experimentos a um nível mais avançado. Isto não seria favorável para esta turma, tendo em vista que o curso visava introduzir os primeiros conceitos de Física Quântica e os experimentos virtuais a serem realizados deveriam abranger alguns mais simples, como o Efeito Fotoelétrico, a Quantização de Energia e Efeito Compton. Uma das facilidades apresentadas pelo "Fisica con Ordenador" foi relativa ao seu acesso, pois estava disponibilizado na *Internet,* sem restrições, não necessitando ser comprado nem instalado no computador.

As preocupações expostas pelo professor e o fato da inserção desta nova metodologia em sua aula, que utilizaria a simulação computacional de alguns experimentos, sinalizaram para nós um possível campo fértil para investigação. Inicialmente, buscávamos compreender se o uso da simulação computacional poderia fornecer aos alunos um modelo explicativo, que favorecesse o aprendizado dos fenômenos quânticos por eles.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Com o decorrer das aulas, foram surgindo outras preocupações que nos inquietavam, em relação à aprendizagem, uma vez que várias pesquisas que investigamos, apontavam para a dificuldade de compreensão pelos alunos dos conceitos envolvidos na Física Moderna. Isto nos trouxe novas interrogações, como: Esta proposta teria como objetivo o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa pelos alunos, uma vez que este assunto geralmente exige uma postura de raciocínio diferente da Física Clássica aprendida até então? Qual seria a compreensão alcançada pelos alunos sobre estes experimentos? E como verificar esta forma de compreensão dos conceitos pelos alunos após o trabalho com simulação?

A partir destas questões, iniciamos a pesquisa que procurou investigar qual o impacto da inserção de um determinado *software* de simulação computacional para o ensino e a aprendizagem dos conceitos iniciais de Física Quântica, dentro da disciplina Estrutura da Matéria I.

Com o decorrer da investigação, o foco da pesquisa passou a ser o tema sobre o Efeito Fotoelétrico. Tomamos como base a teoria da Aprendizagem, proposta por Ausubel (capítulo IV) que apresenta como ponto central, a aprendizagem significativa, no direcionamento para a análise desta pesquisa. Com a finalidade de verificar se os alunos conseguiram alcançar a aprendizagem significativa sobre o tópico do Efeito Fotoelétrico (capítulo III) foram utilizados, como ferramenta avaliativa, os mapas conceituais (capítulo IV).

Porém, no decorrer de nossa investigação, observamos o surgimento de alguns fatores relevantes envolvidos neste processo de ensino aprendizagem, tais como: a nova postura do professor, a reação dos alunos durante o trabalho com simulação e o efeito dos mapas conceituais como recurso avaliativo, que são retratados nas considerações finais (capítulo VII).



2 O ENSINO DE FÍSICA NOS CURSOS DE LICENCIATURA

Na área de Ensino de Ciências são recentes as pesquisas (MC.DERMOTT e REDISH, 1999) sobre as questões relacionadas às dificuldades do ensino de Física Quântica, nas quais são estudadas propostas didáticas, com a finalidade de facilitar este processo.

Autores como Fletcher e Johnston (1999) acreditam que a falta de compreensão dos alunos dos conteúdos básicos durante o processo inicial de aprendizagem de um determinado assunto, torna mais lento o entendimento destes conceitos numa futura abordagem. Este fato justifica a necessidade da efetivação da aprendizagem, pelos alunos, sobre tais fenômenos, nos cursos introdutórios de Física Quântica.

A importância da compreensão do mundo quântico para a sociedade tomou grandes proporções neste último século. Com base no desenvolvimento da Mecânica Quântica, foi que se desenvolveram a "física nuclear, atômica, molecular e de estado sólido, da física das partículas elementares e da luz" (GRECA e MOREIRA, 2001, p.444). A partir deste conhecimento, surgiram várias aplicações na área da Saúde, com a Biotecnologia e da Engenharia, com o desenvolvimento tecnológico, por exemplo, com os *microchips*.

Em relação ao desenvolvimento da tecnologia moderna, Joel Birbaum (1999 apud DAVIDOVICH, 1999) afirma que o desenvolvimento de novas tecnologias, com base em chaves quânticas, será fundamental para manter o crescimento da capacidade computacional nas próximas duas décadas. Tal desenvolvimento tecnológico, que teve seu apogeu na década de 80, atualmente vive a chamada "era quântica do processamento de informação", na qual somente sobreviverão as empresas que conseguirem converter as descobertas científicas em novas tecnologias (DAVIDOVICH, 1999). Muitas empresas internacionais têm investido na criação e desenvolvimento de tecnologia de ponta, através de pesquisas nesta área.



Segundo Davidovich (1999) a riqueza ou a pobreza das nações está associada diretamente à capacidade de criação e desenvolvimento de novas tecnologias, que têm sua origem nas novas descobertas científicas. Porém, este não é o caso do Brasil, que está caracterizado dentre os chamados países em desenvolvimento. Nos países considerados industriais avançados, países de primeiro mundo, existe investimento para pesquisas em ciência fundamental, que são desenvolvidas nos institutos e universidades. Estas pesquisas servem de base para a pesquisa tecnológica, que criam as máquinas e instalações para estes países e para a exportação aos países consumidores. Segundo Leite Lopes (1984) o conhecimento e técnicas detidas por países industriais avançados é a peça fundamental para o desenvolvimento científico. O fato de termos uma tecnologia importada e não termos o conhecimento sobre ela, impede o entrosamento da ciência com a tecnologia e a indústria fundamental, como acontece nas nações industrializadas avançadas, de onde se originam tal desenvolvimento.

Com base neste retrato de nossa realidade nacional, Lopes chama a atenção dos pesquisadores para o fato de que "a pesquisa científica é um processo dinâmico que inclui a interação da comunidade científica com seu ambiente, com forças políticas e sociais" (LOPES, 1984, p.1737). Destaca dentro desta perspectiva que a tecnologia deve ser apropriada para cada país, no sentido de que sejam adequadas financeiramente, ecologicamente e economicamente, servindo aos ideais de melhorar as condições de vida da comunidade inteira. Ressalta que o papel principal da ciência é o de servir como liberadora do homem e que este só será cumprido, quando ela deixar de ser patrimônio de uma comunidade restrita e passar a ser patrimônio da humanidade.

Portanto, a pesquisa em ciência fundamental deve ser desenvolvida dentro da universidade, para servir de base à pesquisa tecnológica, que por sua vez, deverá receber os

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

devidos incentivos, amparados pelas políticas econômicas a fim de que se possa estabelecer e fortalecer o elo formado pela ciência, tecnologia e sociedade.

A Física Quântica é apenas parte do conhecimento científico, mas seu papel foi fundamental dentro da História, na mudança para uma nova forma de ver o mundo. Mas, apesar de os físicos terem contribuído para o desenvolvimento da Física Quântica, durante estes 100 anos de sua existência, há pouco empenho no enriquecimento de conteúdos e métodos, visando à formação do professor de Física, que irá trabalhar com alunos do ensino fundamental e médio (DUCK e SUDARSHAN, 2000).

As deficiências encontradas no ensino de Física Quântica, que abrangem desde a formação de alunos do ensino fundamental até graduados, ainda são tratadas com pouco interesse por parte da comunidade de cientistas. Computadores gráficos, vídeos e livros didáticos aparecem como possíveis integradores que levem a alguma alteração desta realidade. Mas para que estes recursos possam ser utilizados de maneira eficiente, deve haver todo um processo de interação da comunidade científica, envolvendo a "visualização, verbalização, discussão e debate" dos conceitos e experimentos relevantes, que levaram ao desenvolvimento da mecânica quântica (DUCK e SUDARSHAN, 2000).

Greca e Moreira (2001) apresentam uma recente revisão de trabalhos, referentes ao ensino de Mecânica Quântica, no que diz respeito às concepções dos estudantes sobre alguns conteúdos, críticas à abordagem tradicional nos cursos introdutórios e propostas de inovações didáticas. Tais pesquisas têm apontado para a existência de deficiências na aprendizagem dos conceitos pelos alunos, após completarem o curso introdutório de Física Quântica (EULER; HANSELMANN e MÜLLER,1999).

Pesquisas que retratam as concepções prévias dos estudantes, em relação aos conteúdos de Mecânica Quântica, são escassas e aparecem, principalmente, em revistas de Ensino de Ciências. No entanto, trabalho com críticas a abordagem tradicional são centrados

unesp

principalmente em cursos introdutórios no ensino médio e superior. As propostas de inovações didáticas apresentam um caráter de inclusão de tópicos específicos na estrutura curricular, com a inclusão de novas tecnologias, como por exemplo, a computacional.

2.1 Concepções dos estudantes do ensino superior sobre Mecânica Quântica

Johnston, Crawford e Fletcher (1998) realizaram um trabalho, em nível universitário, com alunos do 3º ano de graduação em Física (estes alunos já haviam cursado, anteriormente, disciplinas com conteúdos de Mecânica Quântica) da Universidade de Sydney, Austrália, com a finalidade de encontrar quais eram os modelos mentais utilizados pelos estudantes, referentes a um determinado tópico. Os estudantes foram divididos em dois grupos, sendo que as aulas sobre Mecânica Quântica foram ministradas de maneira formal para um grupo e numa abordagem experimental para o outro. Uma análise fenomenográfica quali e quantitativa das respostas a questionários aplicados antes e depois da instrução dos conceitos envolvidos sobre o tema dualidade onda-partícula, demonstrou não haver diferenças significativas entre os dois grupos de alunos.

Qualitativamente, as concepções apresentadas sobre partículas foram: 4% acreditavam que a partícula é feita de matéria; 63% acreditavam que a partícula é feita de matéria e percorre uma trajetória definida e 33%, além de acreditarem nos conceitos anteriores, aceitavam que a partícula responde a forças. Sobre onda, obteve-se as seguintes classificações: elas possuem propriedades simples, elas difratam e interferem e têm a capacidade de transferir energia. Não foi possível estabelecer categorias em relação aos conceitos de indeterminação e princípio da incerteza, pois as respostas dadas pelos alunos eram muito fragmentadas.



Quantitativamente, a pontuação, de um total de seis pontos, sobre os temas: partícula, ondas, indeterminação e princípio da incerteza, foram de 1,6; 1,3 e 1,7, respectivamente. Os pesquisadores destacaram que os estudantes não usaram uma terminologia correta para as respostas, pois utilizaram termos principalmente sobre o Princípio de Incerteza, Dualidade e Probabilidade, que não tinham relação com as perguntas. Portanto, ficou claro que após o final do curso introdutório, os alunos de Física tinham um conhecimento bastante superficial de Mecânica Quântica. Eles apresentaram uma coleção de fatos isolados e consideravam a matéria muito difícil, pois a associavam somente aos aspectos formais (matemáticos).

Em continuação à pesquisa anterior, Fletcher & Johnston (1999) trabalharam com alunos que já tinham cursado matérias anuais, com conteúdos de Mecânica Quântica, na Universidade de Sydney, através da investigação de questões sobre o Efeito Fotoelétrico, Princípio da Incerteza, Natureza das Ondas e Natureza dos níveis de energia. Eles verificaram que os alunos apresentavam descontextualização dos conceitos, pois mostraram dificuldades de associação com experiências do cotidiano. A mesma pesquisa foi aplicada informalmente a alunos de outros cursos da universidade e os resultados foram semelhantes.

Bao, Jolly & Redish (1996) analisaram respostas de alunos, em atividades em grupo e individualmente, através de pré e pós-testes. Nos pré-testes, os alunos apresentaram dificuldades na interpretação de diagramas de energia potencial e também nenhum conhecimento prévio sobre probabilidade. Após a instrução, no pós-teste, foram obtidas respostas a uma questão relativa ao conceito de níveis de energia, correspondentes a duas funções de onda e também, sobre a localização do elétron. A análise foi feita através de três potenciais retangulares diferentes, que indicavam os níveis de energia, associados a duas funções de onda, sendo uma simétrica e outra assimétrica. Como resultado, obteve-se que menos de 2% dos alunos responderam corretamente, 40% não responderam, 36% usaram os

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

níveis de energia para descrever a posição do elétron e 22% deram respostas que não tinham nenhuma relação com a pergunta.

Eles observaram, no semestre seguinte, que após o uso de um material específico preparado sobre os conceitos de probabilidade e poços de energia potencial, as respostas corretas corresponderam a 81% dos alunos; no entanto verificaram também que continuavam as dificuldades pelos alunos, em encontrar uma explicação correta.

Um instrumento de pesquisa para identificar os conceitos prévios (preconcepções) dos alunos, sobre os conceitos de quantização e fóton, foi desenvolvido por um grupo de pesquisa em ensino de Física da Universidade de Ohio, EUA (AUBRECHT et al, 1999). Esta pesquisa consistia num teste com 4 itens de múltipla escolha e 42 itens do tipo Lickert (GRECA e MOREIRA, 2001). Este tipo de teste é constituído por afirmações com as quais o sujeito deve expressar o seu grau de concordância ou discordância, em uma escala predeterminada, incluindo a opção "não sei". Aplicou-se o teste em 69 alunos do curso de graduação em Engenharia. Observou-se que a maioria dos alunos, apesar de ter um contato inicial com o conceito de fóton, não possuía o conceito de quantização. Num segundo momento, 272 alunos foram investigados, de vários cursos da mesma Universidade e de cursos técnicos da Universidade de Cincinnati. Foram obtidas várias respostas, desde as que confundiam os conceitos de fótons com a natureza da luz, fóton feito de luz e de partículas ou fótons que podem carregar a luz, fótons serem produzidos por luz e luz composta de fótons.

2.2 Críticas à abordagem tradicional dos cursos introdutórios de Mecânica Quântica

Redish & Bao (1997) sugerem que seja superado o enfoque axiomático nos cursos introdutórios de Mecânica Quântica. Nestes cursos é privilegiado o caráter formal ou matemático, dificultando a compreensão, pelos estudantes, do caráter microscópico da

matéria, não visualizando a importância da Mecânica Quântica no desenvolvimento tecnológico.

Story (1998) também critica esta abordagem formal, observando que o seu uso exclusivo leva à formação de uma barreira na compreensão dos conceitos da Mecânica Quântica.

Barton (1997) faz críticas em relação às deficiências dos livros-textos-usuais, que apresentam "princípios e interpretação da Mecânica Quântica" de maneira "simplista e obscura". Ainda sobre os livros textos, encontramos várias críticas àqueles que tentam associar a origem dos conceitos em Mecânica Quântica aos conceitos da Física Clássica (RÜDINGER, 1976).

Fischler & Lichtfeldt (1992) criticam a utilização do modelo atômico de Bohr, para a descrição da estrutura atômica da matéria. O argumento utilizado seria que ensinar o modelo atômico do átomo de Bohr, traz mais dificuldades para o desenvolvimento da compreensão dos alunos do modelo atômico aceito atualmente pela comunidade científica, que é baseado na Mecânica Quântica.

Uma prática criticada por Bastos Filho (2003) que ainda é muito utilizada em sala de aula, se refere ao ensino fragmentado que segue capítulo por capítulo do livro-texto. Esta prática de apresentação da teoria quântica nos cursos regulares faz com que as complexas polêmicas da história real, desapareçam e surjam reconstruções racionais forçadas e dirigidas, dando-se a impressão aos alunos de que o pluralismo só ocorreu durante alguns momentos de dúvidas, que foram resolvidas e eliminadas por uma síntese final e que esta seria apenas a única maneira justa e correta de conceber a multiplicidade dos fenômenos. Para isto, o autor sugere que o ensino seja desenvolvido sob uma abordagem pluralista e temperante, ou seja, uma abordagem que pondera e critica. Nesta ótica, o autor acredita que os problemas que abordam a Realidade, Causualidade e Compreensibilidade podem beneficiar o

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

desenvolvimento dos indivíduos na direção de auxiliar a procura da autonomia de teor político e intelectual do indivíduo (Bastos Filho, 2003).

2.3 Propostas didáticas para o nível universitário

As propostas para o nível universitário são apresentadas como uma tentativa de classificação por Greca e Moreira (2001) divididas em: abordagem histórica, visão filosófica, abordagem "particulista", abordagem sobre tópicos específicos, utilização de recursos computacionais, utilização de resultados de pesquisas sobre fundamentos da Mecânica Quântica, cursos para estudantes de carreiras não científicas e propostas curriculares.

Rüdinger (1976 apud GRECA e MOREIRA, 2001) sugere que a introdução dos conceitos quânticos fundamentais seja abordada através de uma proposta dividida em pequenos passos, que estabeleçam ligações fundamentais com a Física Clássica, de acordo com sua perspectiva histórica. Sugere que nesta proposta seja enfatizado o Principio da Correspondência e centrar o estudo da Mecânica Quântica na Mecânica Matricial, em vez da Mecânica Ondulatória. Esta divisão em pequenos passos poderia facilitar o "salto" conceitual para a compreensão do "estranho mundo" da Física Quântica.

Alguns autores consideram importante o tratamento da Física Quântica, tendo em vista a apresentação das diversas interpretações, o que vem ao encontro das críticas filosóficas. Santos (1976 apud GRECA e MOREIRA, 2001) adota a visão de que a Mecânica Quântica é apenas um conjunto de regras com cálculo muito acurado, com interpretação física ainda não compreendida completamente. E sugere que estas regras devam ser tratadas, a partir de uma abordagem probabilística e em pé de igualdade com as regras da Física Clássica. Pessoa (1997) também concorda que devam ser apresentadas as diversas interpretações do formalismo quântico em curso introdutório. Acredita que com isto os alunos possam

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

desenvolver sua "própria interpretação privada". Destaca como sendo o conceito fundamental dualidade onda-partícula e apresenta várias experiências, para que os alunos tenham condições de adquirir uma intuição sobre as diferentes situações experimentais.

Com base em uma abordagem chamada de "particulista", Hood (1993, apud GRECA e MOREIRA, 2001) considera que a matéria e a radiação se comportam fundamentalmente como partículas. Sugere que a abordagem feita sob este enfoque, pode evitar as discussões que levam à introdução de noções dualísticas da radiação e da matéria que, segundo o autor considera que "o movimento ondulatório observado da radiação e da matéria é uma aproximação, a nível macroscópico, de impactos aleatórios de um número grande de partículas, governadas por uma dinâmica quântica subjacente" (p.291, 1993 apud GRECA e MOREIRA, 2001).

A abordagem sobre tópicos específicos, também utilizada por vários autores, propõe métodos de apresentação de interesse teórico e experimental. A Revista Brasileira de Ensino de Física (1997) apresenta um número especial sobre Física Quântica, com vários exemplos. Bao; Jolly e Redish (1997) apresentam uma proposta para o ensino em cursos introdutórios de Mecânica Quântica, para alunos de outras áreas, como Engenharias, o uso de simulação computacional, que apresentam os conceitos envolvidos nos fenômenos, sem a necessidade do uso de uma matemática mais abstrata. Em pesquisas anteriores, estes autores mostram que estes alunos conseguiram resolver problemas relativamente difíceis; porém isto não representou uma compreensão dos conceitos fundamentais nem a criação de modelos coerentes com os propostos pela Mecânica Quântica, conforme concluem as entrevistas feitas com estes estudantes (BAO, L.; JOLLY, P.; REDISH, 1996).

Existem vários programas computacionais que oferecem experimentos que possibilitam a visualização do microcosmo, inclusive com disponibilidade de acesso através da *Internet*. Rebello & Zollman (1999) apresentam uma proposta de ensino de Mecânica

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Quântica, através do uso de simulação computacional e de laboratório virtual, através de um projeto intitulado "Visual Quantum Mechanics" Thaller (2000). Garcia (1998) que disponibilizou um curso Interativo de Física, chamado de "Física con Ordenador", que apresenta vários experimentos virtuais, dentre eles experimentos da Mecânica Quântica. Este laboratório virtual possibilita ao aluno fazer a simulação de alguns experimentos, tais como: o Efeito Fotoelétrico, Quantização de Energia e Efeito Compton, a partir de valores inseridos adequadamente pelos alunos.

Greca e Moreira (2001) citam vários autores[1] que consideram muito importantes à introdução de resultados experimentais obtidos nos últimos anos, sobre os fundamentos da Mecânica Quântica durante o processo de ensino, como exemplos físicos simples, pois são necessários aos alunos, para que possam evidenciar o comportamento quântico. Algumas destas abordagens têm como finalidade que os alunos consigam compreender os fenômenos mais "intuitivamente" (SCHENZLE, 1996; ZEILINGER, 1999; GRECA; HERSCOVITZ, 2000). Greca e Herscovitz (2000) consideram que as discussões devem manter características propriamente quânticas, ou seja, não trabalhar as semelhanças com os sistemas clássicos, porque consideram que estes oferecem apenas uma visão instrumentalista.

Destacam-se ainda cursos para estudantes de carreiras não científicas (HOBSON, 1996 apud GRECA e MOREIRA, 2001) que trabalham com um enfoque apenas conceitual, sem a utilização das ferramentas matemáticas analisados em conjunto com alguns experimentos. Lawless (1982, apud, GRECA e MOREIRA, 2001) trabalhou com estudantes de Artes, num curso de História da Ciência. A introdução de uma unidade de Mecânica Quântica apresentou resultados positivos.

Propostas curriculares vieram introduzir significativas mudanças de orientação nos cursos introdutórios de Mecânica Quântica. Dentro desta perspectiva, Greca e Moreira

---

1 (Barton,1997; Schenzle, 1996; Ejnisman; Nussenzveig, 1997; Gerry; Knight, 1997; Scarani; Suarez, 1998; Zeilinger, 1999; Greca; Herscovitz, 2000).

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

destacam os livros "Feynman's Lectures on Physics" (FEYNMAN ; LEIGHTON; SANDS, 1965) e o quarto volume "Berkeley Physics Course – Quantum physics" (WICHMANN, 1971 apud GRECA e MOREIRA, 2001). As propostas apresentadas por estes dois livros fizeram parte numa introdução de uma orientação para mudança ocorrida na década de sessenta nos Estados Unidos, em várias universidades; porém, os resultados apontados pelas universidades, afirmaram que os cursos não estavam adaptados aos estudantes a que se destinavam (COLEMAN; HOLCOMB; RIGDEN, 1998). Outro livro, que apesar de seguir a seqüência tradicional, enfatiza o caráter radical das mudanças introduzidas com a idéia de quantização e apresenta larga discussão dos princípios quânticos, é o quarto volume do "Curso de Física" de Moisés Nussenzveig (1998, apud GRECA e MOREIRA, 2001).

unesp

3 O CONCEITO DO EFEITO FOTOELÉTRICO

O conceito do Efeito Fotoelétrico foi apresentado aos alunos, de acordo com a seqüência sugerida pelo livro-texto adotado pelo professor para a disciplina. Apresentamos abaixo, um resumo contendo as idéias principais sobre este tópico, a fim de que o leitor possa visualizar a forma como é tratado.

"A emissão de elétrons de uma superfície, devida à incidência de luz sobre essa superfície, é chamada *efeito fotoelétrico*" (EISBERG e RESNICK, 1986, p. 51). Assim é apresentada a definição de Efeito Fotoelétrico por este livro que foi adotado pela disciplina de Estrutura da Matéria I, localizado no capítulo 2 intitulado por "Fótons – Propriedades Corpusculares da Radiação".

O primeiro item 2.1, "Introdução", se restringe a uma breve visão geral (nove linhas) que trata das evidências experimentais que irão apresentar o comportamento corpuscular da radiação. No item 2.2, "O Efeito Fotoelétrico", após uma rápida descrição histórica de oito linhas sobre as experiências que levaram Hertz à descoberta do fenômeno do efeito fotoelétrico, apresenta a descrição do fenômeno através da explicação do experimento, definindo termos como corrente fotoelétrica, potencial de corte e limiar de freqüência ou freqüência de corte. As figuras 1, 2 e 3 são apresentadas durante a explicação do experimento. No próximo item (2.3) "A teoria Quântica de Einstein sobre o Efeito Fotoelétrico" apresenta a interpretação quântica proposta por Einstein para o fenômeno do efeito fotoelétrico. A partir da idéia de que a energia era quantizada, Einstein propôs a definição de que a energia se encontrava em pacotes de energia, à qual ele chamou de fótons que por sua vez, se encontra relacionada com a freqüência ν, numa dependência que é representada através da equação (1).

$$E = h\nu \qquad (1)$$

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

A **figura 1** apresenta um diagrama esquemático do aparelho que caracteriza o experimento elaborado para estudar o efeito fotoelétrico.

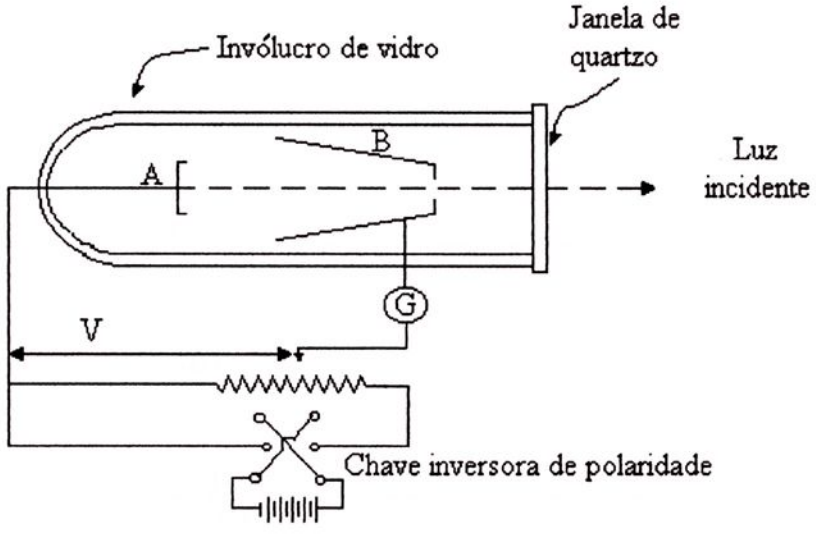


Figura 1 – Aparelho usado para estudar o efeito fotoelétrico. A magnitude da voltagem V pode ser variada continuamente e seu sinal pode ser trocado pela chave inversora. (EISBERG E RESNICK, 1986, p.52)

A descrição para este aparelho (figura 1) se refere ao invólucro de vidro que encerra o aparelho do ambiente, fazendo vácuo. Em seguida, considera que luz monocromática está sendo incidida através da janela de quartzo e cai na placa *A* do metal que libera elétrons, chamados de *fotoelétrons* (grifo do autor). Para detectar estes elétrons que são liberados da placa, em forma de corrente elétrica para o coletor metálico *B*, existe uma diferença de potencial *V* estabelecida entre *A* e *B* que direciona estes elétrons, sendo medida pelo amperímetro *G* esta corrente fotoelétrica. Ao se inverter o sinal de *V*, a corrente fotoelétrica não cai imediatamente a zero; alguns elétrons são emitidos de *A* com alguma energia cinética e chegam até *B*, apesar deste campo elétrico estar se opondo ao seu movimento. Neste trecho, ressalta que ao aumentar a diferença de potencial, no sentido contrário entre as placas *A* e *B* (sinal de *V* é invertido) chegará um determinado instante em

que esta diferença de potencial tornar-se-á suficientemente grande e um valor V_0 chamado potencial limite ou potencial de corte, é atingido e a corrente fotoelétrica cai a zero.

Em seguida, o autor apresenta um gráfico da corrente fotoelétrica em função da diferença de potencial V.

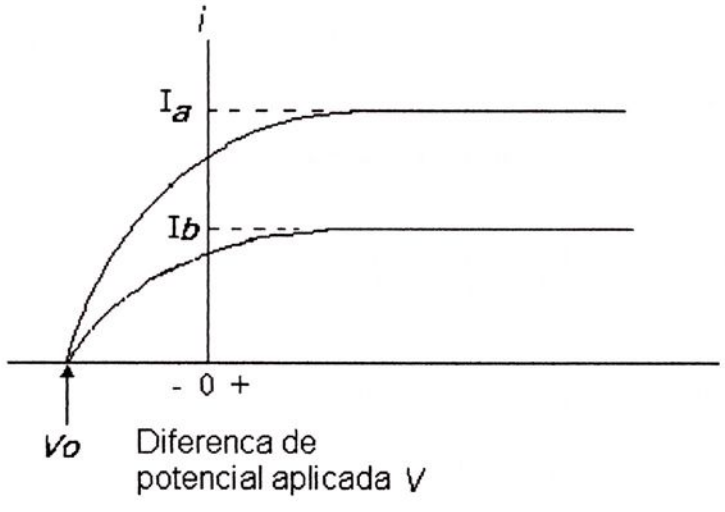


Figura 2 - Gráfico da corrente (*i*) em função da voltagem (*V*), de dados obtidos com o aparelho da figura 1. A diferença de potencial aplicada *V* é dita positiva quando o coletor *B* da figura 1 está a um potencial maior que a superfície fotoelétrica *A*. Na curva *b* a intensidade da luz incidente foi reduzida à metade daquela curva *a*. O potencial limite V_0 é independente da intensidade da luz, mas as correntes de saturação *Ia e Ib* são diretamente proporcionais a ela. (EISBERG E RESNICK, 1986, p.52).

A partir do gráfico da figura 2, verifica-se que experimentalmente a quantidade de energia cinética do mais rápido fotoelétron representada por K_{max}, é independente da intensidade da luz incidente, o que pode ser interpretado da verificação de que $K_{max} = eV_0$ ou seja, K_{max} é igual ao V_0 (diferença de potencial limite para este experimento) multiplicado por e (carga do elétron). Em seguida, apresenta a figura 3 que mostra o potencial V_0 para o sódio, em função da freqüência da luz incidente e define o limiar de freqüência ou freqüência de corte como o valor limite, abaixo do qual, o efeito fotoelétrico deixa de ocorrer.

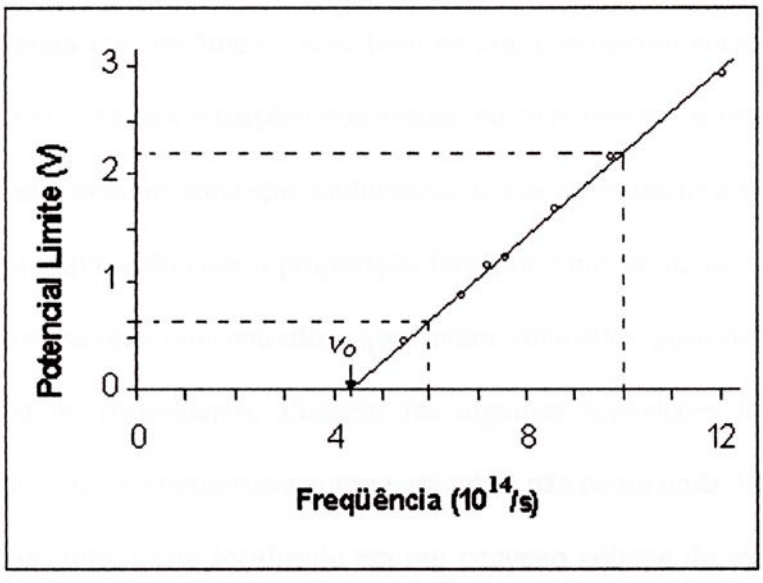


Figura 3 – Um gráfico das medidas de Milikan do potencial limite no sódio em várias freqüências. O limiar de freqüências v_0 é 4,39 x 10^{14} Hz. (EISBERG E RESNICK, 1986, p.53).

Para encerrar o item (2.2) deste capítulo apresentamos três aspectos principais do efeito fotoelétrico, que não podem ser explicados pela teoria ondulatória clássica, aceita até então:

> 1. A teoria ondulatória requer que a amplitude do campo elétrico oscilante **E** da onda luminosa cresça se a intensidade da luz for aumentada. Já que a força aplicada ao elétron é *e***E**, isto sugere que a *energia cinética* dos fotoelétrons deveria também crescer ao se aumentar a intensidade do feixe luminoso. Entretanto, a figura 2 mostra que K_{max}, que é igual a eV_o, *independe da intensidade da luz.* Isto foi testado para variações de intensidade da ordem 10^7.
> 2. De acordo com a teoria ondulatória, o efeito fotoelétrico deveria ocorrer para qualquer freqüência da luz, desde que esta fosse intensa o bastante para dar energia necessária à ejeção dos elétrons. Entretanto a figura 3 mostra que existe, para cada superfície, um *limiar de freqüências v_0 característico. Para freqüências menores que v_0 o efeito fotoelétrico não ocorre, qualquer que seja a intensidade da iluminação.*
> 3. Se a energia adquirida por um fotoelétron é absorvida da onda incidente sobre a placa metálica, a "área de alvo efetiva" para um elétron no metal é limitada, e provavelmente não é muito maior que a de um círculo de raio aproximadamente igual ao raio atômico. Na teoria clássica, a energia luminosa está uniformemente distribuída sobre a frente de onda. Portanto, se a luz é suficientemente fraca, deveria haver um intervalo de tempo mensurável, que vamos estimar no exemplo 2-1, entre o instante em que a luz começa a incidir sobre a superfície e o instante da ejeção do fotoelétron. Durante esse intervalo, o elétron deveria estar absorvendo energia do feixe, até que tivesse acumulado o bastante para escapar. *No entanto, nenhum retardamento detectável foi jamais medido.* Esta discordância é particularmente marcante quando a substância fotoelétrica for um gás; nestas circunstâncias, mecanismos de absorção coletiva podem ser ignorados e a energia do fotoelétron emitido deve certamente ter sido extraída do feixe luminoso por um único átomo ou molécula. (EISBERG E RESNICK, 1986, p.53)

unesp

A interpretação quântica proposta por Einstein apresentada no item seguinte (2.3) caracteriza e interpreta este fenômeno, com base no comportamento corpuscular observado. Sua explicação satisfaz as três situações observadas no experimento acima citadas, que não podiam ser explicadas pela interpretação ondulatória, aceita até então pela visão clássica.

Inicia a explicação com a proposição feita por Einstein de que a energia radiante está quantizada em pacotes concentrados, que foram chamados posteriormente de *fótons*. Dentro desta linha de pensamento, Einstein fez algumas suposições de acordo com os experimentos, onde a luz se comportava como partícula e não como onda. Primeiro, supôs que o pacote de energia (fóton) está localizado em um pequeno volume do espaço e permanece localizado, à medida que se afasta da fonte com velocidade c (velocidade da luz) e que a energia E do fóton está relacionada com sua freqüência ν, através da equação (1). Em segundo lugar, supôs que durante este processo, um fóton é completamente absorvido por um elétron no fotocatodo.

O elétron ao ser emitido da superfície do metal, tem uma energia cinética, que é dada pela equação (2) onde hν é a energia do fóton incidente absorvido e w é o trabalho necessário para remover o elétron do metal.

$$K = h\nu - w \qquad (2)$$

Considerando as condições ideais durante este processo, onde a ligação entre os elétrons apresente ligações mais fracas e nenhuma perda interna, o fotoelétron emergirá com energia cinética máxima K_{max}, representado pela equação (3) onde w_0 é chamada função--trabalho que é uma energia característica do metal, sendo esta a energia mínima necessária para o elétron atravessar o metal, superando as forças atrativas que o ligam ao metal.

unesp

Esta hipótese proposta por Einstein explica as três objeções feitas no item anterior. A *primeira objeção* se refere ao fato de que K_{max} não depende da intensidade de iluminação; este fenômeno está em concordância com a teoria do fóton, pois ao dobrar a intensidade de luz, dobra-se o número de fótons e conseqüentemente a corrente é duplicada sem nenhuma alteração na energia de cada fóton, que é estabelecida por $h\nu$ e nenhuma alteração na natureza do processo, dada pela equação (2). Para a *segunda objeção,* que se refere à existência de um limiar de freqüências, é explicada igualando a energia cinética máxima (K_{max}) a zero, obtendo-se a energia do fóton ($h\nu_0$) igual à função trabalho deste metal (w_0) conforme a equação (4). Então se um fóton tem freqüência igual ν_0, ele terá energia necessária para ejetar os fotoelétrons e nenhum excesso aparecerá como energia cinética. Porém, se a freqüência deste fóton for menor do que ν_0, não terá energia necessária para ejetar fotoelétrons, o que independe da quantidade de fótons. E finalmente, a *terceira objeção* que se refere à ausência de retardamento, que seria causada por um intervalo de tempo mensurável existente entre a iluminação e a ejeção do fotoelétron, também é explicada pela hipótese do fóton que define que a energia necessária é transportada em pacotes concentrados, não se espalhando uniformemente sobre a superfície do metal, como era de se esperar, pelo comportamento ondulatório da luz. Ao contrário, se houver luz emitindo sobre a superfície do metal, haverá pelo menos um fóton que o atinge, que será absorvido imediatamente por algum átomo, provocando a imediata emissão de um fotoelétron.

$$K_{max} = h\nu - w_0 \qquad (3)$$

$$h\nu_0 = w_0 \qquad (4)$$

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Ao se reescrever a equação fotoelétrica (3) substituindo K_{max} por eV_0, fica clara a relação linear prevista por Einstein, que relaciona o potencial limite V_0 com a freqüência ν, concordando com os resultados experimentais obtidos por Millikan em 1914 (figura 3) de acordo com a equação (5).

$$V_0 = (h\nu/e) - (w_0/e) \qquad (5)$$

Ao calcular o ângulo de inclinação da reta apresentada pela figura 3, que relaciona a voltagem com a freqüência, este valor deve ser igual a h/e. Tomando como valores as coordenadas dos pontos ($10{,}0 \times 10^{14}$; 2,20) e ($6{,}0 \times 10^{14}$; 0,65) do gráfico da figura 3, obtém-se o seguinte valor para h/e:

$$h/e = (2{,}20\text{V} - 0{,}65\text{V}) / (10{,}00 \times 10^{14}/\text{s} - 6{,}0 \times 10^{14}/\text{s}) = 3{,}9 \times 10^{-15}\text{V.s} \qquad (6)$$

Observando a razão h/e, pode-se obter o valor de h, multiplicando-a pelo valor da carga eletrônica e ($1{,}6 \times 10^{-19}$C) obtida do seguinte cálculo:

$$h/e = 3{,}9 \times 10^{-15}\text{V.s} \rightarrow h = 3{,}9 \times 10^{-15}\text{V.s} \times 1{,}6 \times 10^{-19}\text{C} \rightarrow h = 6{,}2 \times 10^{-34}\text{J.s} \qquad (7)$$

Comparando este valor obtido para $h = 6{,}2 \times 10^{-34}$J.s com o valor atual obtido para a constante de Planck de $h = 6{,}6262 \times 10^{-34}$J.s, observa-se que o valor está bem próximo do valor atual. O autor ressalta também que nos resultados experimentais obtidos por Millikan, durante várias experiências, encontrou como resultado o valor de $h = 6{,}57 \times 10^{-34}$J.s, que apresenta uma precisão de 0,5%. O autor finaliza destacando como "notável" a concordância numérica entre as determinações obtidas para o valor de h, através do uso de teorias completamente diferentes.

unesp

4 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Consideramos importante para a carreira do educador, compreender os princípios que fundamentam a aprendizagem significativa, pois segundo Ausubel (1980) tais princípios fornecem um "fundamento lógico" aos professores, para que estes estejam aptos a fazer escolhas mais coerentes entre os vários métodos existentes de trabalho e até mesmo, conseguir descobrir por si mesmos métodos de ensino mais eficazes. Esta perspectiva orientou o desenvolvimento deste trabalho, desde o processo de investigação até a subseqüente busca pela compreensão conceitual alcançada pelos alunos, com o auxílio do uso dos mapas conceituais, conforme descrição no item 4.2.

A aprendizagem significativa está desenvolvida no âmbito da Psicologia Educacional, que tem como objetivo básico, lidar com a natureza, condições e avaliação da aprendizagem em sala de aula ou aprendizagem das disciplinas acadêmicas e os fatores que as influenciam. Este estudo aborda a construção do conhecimento pelos alunos, originada em grande parte pela aprendizagem receptiva significativa, que é facilitada por meio de um ensino expositivo apropriadamente elaborado. Tendo em vista que as aulas que acontecem na Universidade, em geral, seguem o padrão de aulas expositvas, nada mais coerente que procurarmos compreender melhor como se dão as relações de ensino e aprendizagem traçadas por esta teoria. É claro que, em nosso trabalho, consideramos importante o fator de interação do aluno, quando propusemos os experimentos, o que não deixa de ser explicado por esta teoria, quando define o fator da disposição do aluno para interagir com o material, um dos requisitos básicos para que este possa aprender significativamente, conforme explicaremos no decorrer deste capítulo.

A teoria inicial sobre a aprendizagem cognitiva foi desenvolvida em 1963 e publicada no livro *"The Psychology of Meaningful Verbal Learning"* (AUSUBEL, 1963).



Tal trabalho sofreu consideráveis modificações, em função de pesquisas desenvolvidas na época, o que levou o autor a considerar a teoria de aprendizagem como teoria da assimilação.

O nome de "Teoria da Assimilação" refere-se a algumas características importantes desta teoria, tais como o papel interativo que as estruturas cognitivas existentes desempenham no processo da nova aprendizagem.

4.1 O processo de Aprendizagem

Neste trabalho, considera-se que o processo de aprendizagem engloba a construção de conhecimento. A importância da construção do conhecimento na aprendizagem do ser humano envolve uma construção, que se dá através da observação de acontecimentos ou objetos. Segundo Novak (NOVAK e GOWIN, 1999) estes acontecimentos ou objetos tanto podem ser de ocorrência natural, como por exemplo, a chuva ou um gato, quanto aqueles construídos pelo homem, como por exemplo, a educação ou uma cadeira.

Dentro desta perspectiva de desenvolvimento e/ou aprimoramento da construção de conhecimento, o papel da aprendizagem leva o indivíduo a considerar certas regularidades nos acontecimentos ou objetos observados. Tais regularidades são caracterizadas por conceitos. Por exemplo, "lousa" é o termo do vernáculo utilizado para definir um objeto de aparência retangular, que possui uma superfície lisa, sendo afixado geralmente na parede como um quadro, onde se escreve com giz ou caneta, dependendo de sua superfície.

Novak (1999) destaca que os conceitos são aquilo com que pensamos e que se não os tivermos claros e organizados, o nosso pensamento será confuso e não conseguiremos resolver problemas nem gerar outros conceitos para solucionar tais problemas.

Para Novak (1999, p. 20) "a cultura é o veículo através do qual as crianças adquirem conceitos construídos através dos séculos; as escolas são invenções relativamente

unesp

recentes para acelerar este processo". A escola é o local onde os alunos terão acesso a novas e variadas informações, que se desenrolaram através dos tempos e são atualmente aceitas pelas Ciências.

Sabe-se também que a aprendizagem tem caráter pessoal e idiossincrático[2], ou seja, o significado da aprendizagem é individual para cada pessoa, podendo mesmo ser radicalmente diferente entre os alunos de um mesmo grupo. O indivíduo está em contato constante com novas informações. Este movimento permite a apropriação de novos conceitos que passam a modificar ou alterar as concepções dos indivíduos.

Com base nesta visão, o papel da Educação compreende um processo educativo que depende de vários fatores, tais como pensamentos, sentimentos e ações dos professores e alunos – aqueles que ensinam e aqueles que aprendem. Neste processo, a experiência está em constante transformação de significados para ambos.

Considerar a investigação de uma experiência educacional não é tão simples, pois, segundo Schwab (1973 apud NOVAK e GOWIN, 1999) esta envolve quatro "lugares-comuns": professor, aluno, currículo e o meio. Novak explica-os:

> Nenhum destes é redutível a qualquer um dos outros, e todos eles devem ser considerados na educação. É obrigação do *professor* planificar a agenda de atividades e decidir qual o conhecimento que deve ser considerado e em que seqüência. É claro que o professor competente deverá envolver o aluno em alguns aspectos da planificação da agenda de atividades, mas espera-se que o professor tenha mais competência que o aluno na área de estudo. O *aluno* deve optar por aprender; a aprendizagem é uma responsabilidade que não pode ser compartilhada. O *currículo* compreende o conhecimento, as capacidades, e os valores da experiência educativa que satisfaçam critérios de excelência de tal modo que o convertam em algo digno de ser estudado. O professor especialista será competente tanto no material como no critério de excelência utilizado na área em estudo. O *meio* é o contexto no qual a experiência de aprendizagem tem lugar, e influencia a forma como o professor e o aluno compartilham o significado do currículo (NOVAK e GOWIN, 1999, p.22).

---

2 De acordo com o Novo Dicionário Aurélio, "idiossincrático" é um adjetivo relativo a idiossincrasia que significa disposição do temperamento do indivíduo, que o faz reagir, de maneira muito pessoal, à ação dos agentes externos; maneira de ver, sentir, reagir, própria de cada pessoa.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

4.1.1 O Significado de Aprendizagem Significativa

A idéia central estabelecida por Ausubel (1980) para que a aprendizagem seja significativa, requer que as idéias expressas simbolicamente devam estar relacionadas com as informações previamente adquiridas pelo aluno, de modo não *arbitrário e substantivo* (não literal), ou seja, *as idéias estão relacionadas a algum aspecto relevante existente na estrutura cognitiva do aluno* (imagem, símbolo, conceito ou proposição).

Novak (1981, p.10) interpreta o significado de estrutura cognitiva, de acordo com Ausubel, como sendo um "arcabouço de conceitos hierarquicamente organizados" e que estes são "as representações da experiência sensorial da pessoa". De acordo com esta visão, o armazenamento de informações pelo cérebro é altamente organizado, formando articulações entre os elementos mais antigos e os mais recentes, onde elementos menos importantes se ligam ou se incorporam aos conceitos mais importantes, mais gerais e mais inclusivos, o que demonstra uma ordenação de acordo com a hierarquia conceitual.

Quando se fala em aprendizagem significativa, deve-se levar em conta que ela implica a "aquisição de novos conhecimentos" pelo aprendiz. Segundo Ausubel (1980) ao buscar ensinar significativamente um determinado material, o professor deve levar em conta duas considerações fundamentais: a primeira, é que ao apresentar um material sobre determinado assunto, este deve ser potencialmente significativo; a segunda, se refere à necessidade da existência de uma disposição do aluno em relacionar, de forma não arbitrária e substantiva, este material à sua estrutura cognitiva. Portanto, é fundamental levar-se em conta estes dois fatores para que a aprendizagem significativa aconteça, caso contrário pode não passar de uma aprendizagem mecânica, que não mantém nenhuma relação substantiva com a estrutura cognitiva, sendo esquecida e não fazendo sentido ao aprendiz.

unesp

4.1.2 Tipos de Aprendizagem Significativa

A Aprendizagem Significativa é classificada em três tipos básicos (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1980): Representacional, de Conceitos e Proposicional.

Caracteriza-se a aprendizagem Representacional como aprendizagem de associação simbólica primária, na qual a criança associa aos símbolos isolados, por exemplo, palavras, o que eles realmente representam.

A aprendizagem de Conceitos caracteriza-se pela associação dos conceitos, que são unidades genéricas ou idéias categóricas, por meio de uma representação simbólica, podendo ser considerada uma extensão da aprendizagem representacional. Difere desta última, por encontrar-se num nível mais abrangente e abstrato, apontando regularidades entre eventos ou objetos.

Na aprendizagem Proposicional, tem-se como objetivo compreender uma proposição. A proposição é um composto de idéias formadas por conceitos, em certo grau, abstratos. Não temos somente uma associação simbólica de significados; exigirá, além disso, um significado à idéia, de modo que seja uma apresentação de proposições. A aprendizagem Proposicional difere da aprendizagem de Conceitos, pela maneira na qual estas são incorporadas na estrutura cognitiva do aluno, pois nesta última ocorre "uma incorporação de um novo conceito que resultará num novo significado genérico, porém unitário; já na aprendizagem Proposicional, uma nova proposição é incorporada na estrutura cognitiva formando uma nova estrutura significativa" (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1980, p.59).

Segundo Ausubel (ib idem) existe um contínuo entre a aprendizagem Automática e a Significativa, onde a aprendizagem Representacional se aproxima da Automática e as

unesp

aprendizagens de Conceito e a Proposicional se aproximam da Significativa, pois elas requerem "formas mais complexas de aprendizagem Significativa".

Para a aprendizagem significativa de Conceitos e Proposicional existe uma classificação que varia de acordo com a organização dos conceitos ou proposições dentro da estrutura cognitiva do indivíduo. A aprendizagem significativa de Conceitos ou Proposicional é caracterizada como subordinativa, quando uma nova informação liga-se a aspectos relevantes da estrutura cognitiva, ou seja, o novo material é subordinado a idéias mais gerais ou abrangentes dentro desta estrutura cognitiva que se organiza hierarquicamente a cada processo de aprendizagem.

Outra caracterização é a aprendizagem superordenada que ocorre na aprendizagem de proposições ou conceitos, sendo mais comum para os conceitos. Este tipo de aprendizagem resulta da inclusão de uma nova proposição ou conceito, que por ser mais amplo do que os existentes na estrutura cognitiva, serve de condicionante para o surgimento de outras idéias novas.

E finalmente, quando uma nova idéia não se associa por subordinação nem por superordenação com os conceitos relevantes da estrutura existente, ele é caracterizado como aprendizado combinatório. Neste aprendizado, o novo material não é associado a idéias particulares relevantes da estrutura cognitiva, mas é potencialmente significativo, pois se relaciona com uma grande quantidade de conteúdo armazenado, de maneira não arbitrária. Esta relação combinatória acontece quando o aluno aprende uma grande quantidade de proposições ou conceitos novos, dos quais estas generalizações novas que os estudantes aprendem em ciências, matemática, estudos sociais e ciências humanas constitui exemplo de aprendizagem combinatória.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

4.1.3 Aprendizagem Significativa: Assimilação

Vamos chamar de ***c*** a um conceito ou proposição que seja potencialmente significativa e de ***C*** ao conceito subsunçor ou estrutura de conhecimento específica do aluno. Os conceitos subsunçores são aqueles conceitos relevantes já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. A palavra "subsunçor" é uma tradução para a língua portuguesa, do termo inglês "subsumer" que é equivalente a inseridor ou subordinador. Ausubel (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1978) considera o conceito subsunçor como uma "âncora" para que a nova informação possa ser incorporada à estrutura cognitiva.

Então, quando ***c*** é apresentada e relaciona-se com ***C***, a primeira é assimilada na estrutura cognitiva, da qual resultará em um produto interacional *Cc*. Este produto interacional *Cc* mostra que a nova informação e o conceito subsunçor foram modificados na interação. Isto representa a assimilação de ***c*** pela estrutura cognitiva do aluno, sob uma idéia ou conceito mais inclusivo.

4.1.4 Organizadores Prévios

Levando em conta o desenvolvimento de conceitos subsunçores que facilitem a aprendizagem subseqüente, Ausubel (MOREIRA e MANSINI, 1982) recomenda que sejam usados os Organizadores Prévios, que servirão de âncora para a nova aprendizagem.

Os organizadores prévios funcionarão como ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que deve aprender, de tal maneira que a aprendizagem seja acrescida em sua estrutura cognitiva. Para tal, são apresentados materiais introdutórios, com alto nível de abstração, generalidade e inclusividade, antes do material original a ser aprendido, a fim de que haja interligação de conceitos aparentemente não relacionáveis através da abstração.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

4.1.5 Aprendizagem na estrutura cognitiva

Num processo instrucional, é necessário considerar a estrutura cognitiva do aprendiz no momento da aprendizagem, pois segundo Ausubel (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1980, p.294) "... o fator mais importante influenciando a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; determine isso e ensine-o de acordo".

Deve-se compreender o caráter substantivo e programático do processo instrucional. O caráter substantivo é caracterizado pelos conceitos e princípios que são unificadores e inclusivos. O caráter programático é caracterizado pelos métodos adequados de aprendizagem do conteúdo, sendo utilizados de maneira apropriada para a organização seqüencial da matéria. Tais princípios programáticos (MOREIRA e MANSINI, 1982) são diferenciação progressiva, reconciliação integrativa, organização seqüencial e consolidação.

Supõe-se, dentro do modelo Ausubeliano, que existe na mente do indivíduo uma organização para um conteúdo científico na forma de uma estrutura hierárquica, onde as idéias mais inclusivas estão no alto da estrutura e progressivamente incorporam proposições, conceitos e fatos menos inclusivos (ROCHA, 1999). Nesta condição, ocorrerá maior facilidade na aprendizagem dos aspectos diferenciados de um todo, mais inclusivo, em vez de chegar-se ao todo por partes diferenciadas, que são previamente aprendidas.

Com isto, a aprendizagem receptiva verbal passa a ser significativa. A linguagem esclarece os significados, tornando-os mais precisos e transferíveis e o ser, ao aprender, não necessita mais descobrir princípios, conceitos e proposições para usá-los adequadamente (AUSUBEL, 1963).

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

4.2 MAPAS CONCEITUAIS

Consideramos importante o trabalho com mapas conceituais, pois estes servem como ferramentas para auxiliar o professor, na efetivação da aprendizagem significativa, uma vez que são ferramentas utilizadas para representar e organizar o conhecimento. Sua definição foi introduzida pelo professor Joseph D. Novak, na década de 70, que desenvolvia pesquisas com alunos de pós-graduação da Universidade de Cornell. Estes trabalhavam com entrevistas clínicas com crianças, quando observaram a capacidade dos mapas conceituais em representar a organização conceitual, de acordo com a estrutura cognitiva do indivíduo. Esta característica passou a ser mais investigada e logo se tornou uma ferramenta poderosa na investigação das concepções dos alunos, pois estabelece uma comunicação com a estrutura cognitiva do aluno, de maneira que tanto professor quanto aluno possam compreendê-las.

Sua representação esquemática engloba conceitos que aparecem destacados com letras maiúsculas ou em negrito, podendo estar escritos dentro de figuras geométricas (retangulares, circulares, etc). Os conceitos são ligados por linhas, que representam as inter-relações entre eles formando proposições. As proposições são compostas por dois ou mais conceitos ligados por outras palavras que formam o que Novak (NOVAK e GOWIN, 1999) chama de "o estado do significado". Algumas destas também são chamadas de unidades semânticas ou unidades do significado. Na figura 4, apresentamos um exemplo de Mapa Conceitual, descrevendo as características citadas acima.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

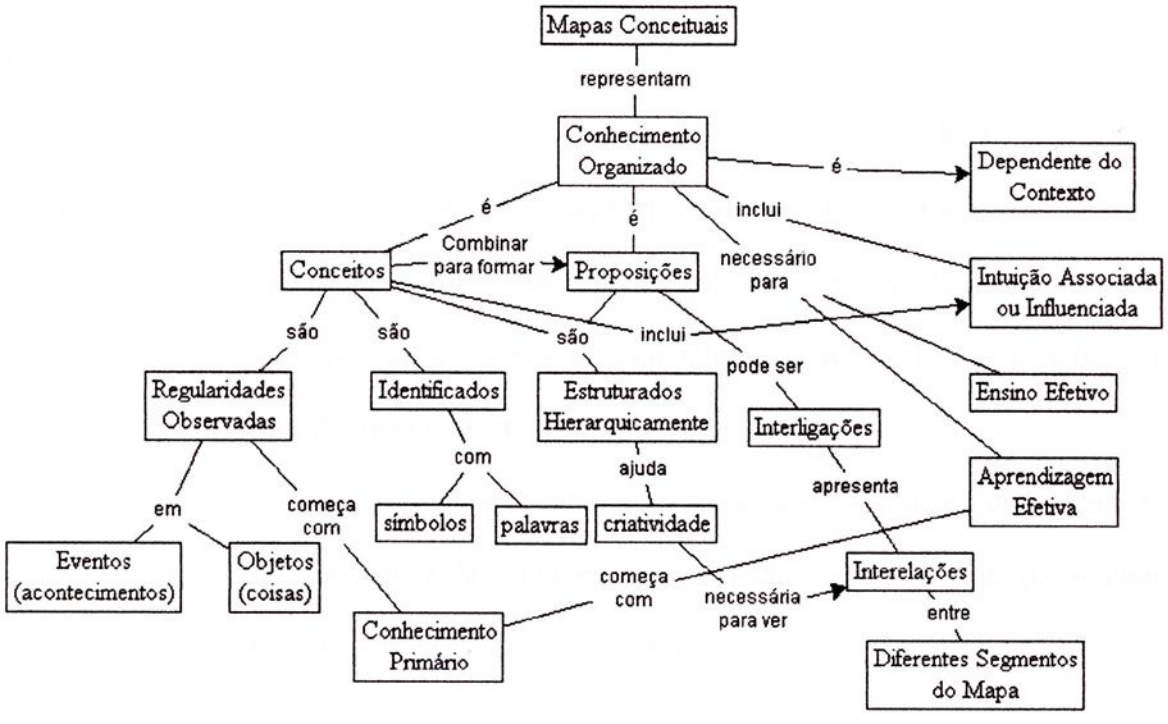


Figura 4 - Exemplo de um Mapa Conceitual que descreve a estrutura de Mapas Conceituais. Disponível em: <cmap.coginst.uwf.edu/>

Os mapas conceituais tanto podem servir para o ensino quanto para a avaliação. Além destas características, os mapas conceituais também podem ser utilizados na análise do currículo (MOREIRA, 1992). Como instrumento de análise do currículo, é possível construir um mapa que represente desde uma aula para uma dada disciplina até um curso completo. Isto facilita a compreensão pelo organizador do currículo como conteúdo curricular e conteúdo instrumental (função de veículo para aprendizagem).

4.2.1 Como recurso de ensino

De acordo com esta teoria, o conhecimento prévio do aluno parece ser o fator isolado que mais influencia a aprendizagem subseqüente. O mapa conceitual auxilia os professores a observarem como seus alunos pensam e organizam os conceitos. Este mapa

também poderá mostrar ao professor algumas "falhas" ou conceitos alternativos presentes nas concepções de seus alunos.

Recomenda-se o uso de mapas conceituais como recurso de ensino, antes da introdução do material didático, pois estes auxiliarão a organização conceitual pelos alunos. Nesse momento, o professor ao apresentar aos alunos um exemplo de mapa conceitual, elaborado por ele, a fim de que os alunos possam integrar e reconciliar as relações entre conceitos, promovendo subseqüentemente uma diferenciação progressiva.

O professor que for utilizar o mapa conceitual como estratégia de ensino, deve estar atento a algumas vantagens e desvantagens que tal recurso didático pode proporcionar. Moreira (1985) classifica as possíveis vantagens, como:

> 1. enfatizar a estrutura conceitual de uma disciplina e o papel dos sistemas conceituais no seu desenvolvimento;
> 2. mostrar que os conceitos de uma certa disciplina diferem quanto ao grau de inclusividade e generalidade e apresentar esses conceitos em uma ordem hierárquica de inclusividade que facilite a aprendizagem e retenção dos mesmos;
> 3. prover uma visão integrada do assunto e uma espécie de "listagem" daquilo que foi abordado nos materiais instrucionais. (MOREIRA, 1985, p.92)

Contudo, chama a atenção para algumas "desvantagens" que podem acontecer se o professor não estiver atento para o fato de:

> 1. se o mapa não tem significado para os alunos, eles podem encará-lo apenas como algo mais a ser memorizado;
> 2. os mapas podem ser muito complexos e confusos e dificultar a aprendizagem e retenção, ao invés de facilitá-las;
> 3. a habilidade dos alunos para construir suas próprias hierarquias conceituais pode ficar inibida em função do fato de que já recebem prontas as estruturas propostas pelo professor (segundo sua própria percepção e preferência. (MOREIRA, 1985, p.92)

Moreira (1985) salienta ao professor que ao utilizar o mapa conceitual como recurso instrucional, deve ter um compromisso entre clareza e completeza, evitando a apresentação de um mapa conceitual muito complexo, ou seja, que abranja todas as possíveis

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

ligações entre conceitos sobre determinado assunto, pois isto pode trazer aos alunos uma dificuldade de interpretação. Então, deve-se procurar manter a clareza do mapa.

Destacamos também a importância de explicar aos alunos as finalidades dos mapas conceituais e a de encorajá-los a construir seus próprios mapas conceituais, para que possam se familiarizar com esta técnica.

4.2.2 Como recurso de avaliação

A estrutura de apresentação dos mapas conceituais fornece ao professor uma forma de representação da compreensão conceitual dos alunos. A partir dos dados observados nos mapas elaborados por alunos, é possível reconhecer como o aluno organiza os conceitos hierarquicamente, como os relaciona e diferencia e como os discrimina e os integra.

Este recurso avaliativo pode ser utilizado antes da instrução, pois fornece informações sobre o conhecimento prévio dos alunos, como também durante e após a instrução, uma vez que fornece informações sobre mudanças ocorridas na sua estrutura (MOREIRA, 1985).

Em nosso caso, utilizamos os mapas conceituais após a instrução, para a verificação da organização conceitual expressada pelos alunos, através dos mapas. Tomamos como base, o roteiro proposto por Novak (NOVAK e GOWIN, 1999) para a aplicação e análise de mapas conceituais na graduação.

4.2.3 Roteiro de aplicação dos mapas conceituais na graduação

O professor Novak (NOVAK e GOWIN, 1999) sugere estratégias para a introdução dos mapas conceituais, abrangendo desde os níveis fundamentais até o

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

universitário. Esta perspectiva considera fundamental, trabalhar com atividades prévias que auxiliem os alunos nas atividades de elaboração dos mapas conceituais.

Estas atividades prévias visam promover inicialmente a distinção entre conceitos e palavras de ligação ou palavras-chave. Define a palavra como "rótulo" que serve para a representação dos conceitos e que estes respeitem o significado dado por cada indivíduo, de acordo com sua compreensão dos fatos. A partir desta definição, apresenta a distinção entre as palavras que traduzem *regularidades* dos acontecimentos ou objetos daquelas que os caracterizam, no caso dos nomes próprios. Sugere que os alunos construam frases curtas, como por exemplo, *o dia é claro;* e pede para que identifiquem os conceitos e as palavras de ligação.

O ser humano tem a capacidade de observar regularidades nos acontecimentos e objetos. Entretanto, devemos enfatizar as regularidades observadas, pois a compreensão destas promovem a compreensão dos conceitos. A compreensão das regularidades ou conceitos serve de lastro para a aprendizagem de novos conceitos.

Após este trabalho com os alunos, Novak (NOVAK e GOWIN, 1999) sugere uma seqüência para elaboração dos mapas conceituais, que se inicia com a identificação dos conceitos pelos alunos de um texto escolhido pelo professor e posteriormente, com uma listagem dos conceitos principais deste texto, que pode ser feita na lousa, com a participação dos alunos. Com esta lista de conceitos, os alunos poderão procurar reorganizá-los de maneira ordenada, de cima para baixo, da maior à menor generalidade e inclusividade. A partir daí, monta-se o mapa, com os conceitos ordenados, amparado pelos alunos para organização das ligações. Possivelmente os primeiros mapas apresentarão má simetria e localização deficiente entre conceitos (conceitos distantes que pertencem a outros intimamente relacionados). Então sugere-se que possam ser refeitos. Sugere-se que o professor organize uma discussão sobre o sistema de pontuação e classificação dos mapas, juntamente com os alunos.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Depois de terminada esta construção, em conjunto com os alunos, fornecer outros textos para que eles possam construir seus próprios mapas e analisá-los. Em seguida, deixar um tempo para que cada aluno possa fazer a apresentação de seu mapa, pois nele está inserida a interpretação dada a determinado conteúdo. Isto reflete sua compreensão sobre os acontecimentos e objetos (NOVAK e GOWIN, 1999), (MOREIRA e MANSINI, 1982).

4.2.4 Classificação dos mapas conceituais

O uso destas ferramentas pode abranger desde os níveis do ensino fundamental até o da graduação e pós-graduação (NOVAK e GOWIN, 1999). Vimos a importância desta ferramenta ao se tratar do ensino, pelo fato de poderem expressar os conceitos de modo consistente com a teoria da aprendizagem de Ausubel. Agora, ao se pensar no uso dos mapas conceituais como instrumento avaliativo, a primeira questão que nos vem à mente é o fato da análise quantitativa deste mapa. De que maneira poderemos atribuir "notas" que definam o aprendizado do aluno sobre determinado conceito expresso através deste mapa? É fácil pensar em termos de "quantificação" ao se tratar de testes, por exemplo, (não estamos julgando aqui sua eficácia quanto ao real aprendizado através dos métodos convencionais) é difícil pensar em verificar se o aluno compreendeu o mínimo necessário, para poder dar continuidade ao aprofundamento sobre determinados assuntos. Uma das dificuldades maiores surge do caráter individual da representação conceitual de cada mapa, porque cada indivíduo tem um modo diferente de representar um mesmo assunto.

Estas e outras questões representam a dificuldade da analise quantitativa dos mapas conceituais; o de instituir padrões que possibilitem o "quanto" e "como" os alunos conseguiram aprender em determinado contexto. Uma das principais causas da dificuldade de compreender como tais análises podem ser feitas, surge do fato de nossa "mais comum"

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

tendência que é a de reproduzir as nossas próprias experiências obtidas através dos tempos, por exemplo, a própria experiência enquanto aluno.

Como forma de procurar não instituir "padrões rígidos" de análise dos mapas, mas de fornecer condições de experiências obtidas durante vários anos de estudo, propomos alguns critérios de classificação dos mapas conceituais, segundo Novak.

Para Novak (NOVAK e GOWIN, 1999) são quatro critérios principais que o professor pode estar utilizando quando for analisar e classificar um mapa conceitual: *proposições, hierarquia, ligações cruzadas e exemplos.*

Através da análise das *proposições* – as relações entre conceitos – o professor deve verificar se as palavras-chave que ligam os dois conceitos instauram significado entre eles e se a relação é verdadeira, se tem validade.

Em seguida, deve ser observada a *hierarquia,* verificando a validade das relações entre os conceitos mais inclusivos ou mais gerais, que devem estar mais acima (ou em destaque) dos subordinados ou mais específicos que estarão localizados abaixo destes.

Devem ser observadas também, as *ligações cruzadas* ou *ligações transversais* que representam um caráter de transversalidade ao mapa, ligando validamente segmentos opostos horizontalmente. Estas ligações representam um maior grau de compreensão quando apresentam simultaneamente significativas e válidas, expressando sínteses entre grupos de proposições ou conceitos relacionados. Se ao contrário, apresentarem somente a validade a pontuação deve ser menor. Também é possível que o aluno faça alguma ligação transversal que seja criativa ou peculiar.

E finalmente, podem existir os *exemplos*, que apesar de não serem conceitos (não representar dentro do retângulo, como no caso do conceito) representam acontecimentos ou objetos concretos.



Na tabela 1 montamos, de acordo com os quatro critérios citados anteriormente, uma tabela para pontuação dos mapas conceituais.

Tabela 1: Pontuação para mapas conceituais de acordo com os critérios classificatórios propostos por Novak.

Critérios Classificatórios	*Pontuação de acordo com cada característica dos Critérios Classificatórios*
Proposições (ligações entre dois conceitos): ***cada ligação se for válida e significativa***	1
Hierarquia: ***cada nível válido***	5
Ligações Transversais: ***cada ligação se for válida e significativa***	10
Exemplos: ***cada exemplo válido***	1

O item *Ligações transversais* também pode receber a seguinte pontuação:

2 pontos, se a ligação for somente válida,

1 ponto, se a ligação for criativa ou peculiar.

De uma maneira geral esta pontuação serve como um modelo para atribuir valores aos mapas conceituais, de acordo com a validade das representações e seu significado entre conceitos.

Novak também ressalta que um mapa pode ter melhor classificação do que o mapa de referência, podendo este ter uma pontuação maior do que 100%. Percebe-se também que o fator de criatividade é ressaltado. Às vezes, um aluno pode ter uma visão inusitada que não foi imaginada, até então, pelo professor, que construiu um mapa de referência para determinado assunto. Conforme o significado expresso pela possível ligação, ela pode contribuir sobremaneira com o aprendizado e deve ser considerada. A tabela 2 apresenta um exemplo de pontuação para um modelo de mapa conceitual da figura 5, de acordo com esta proposta.

unesp

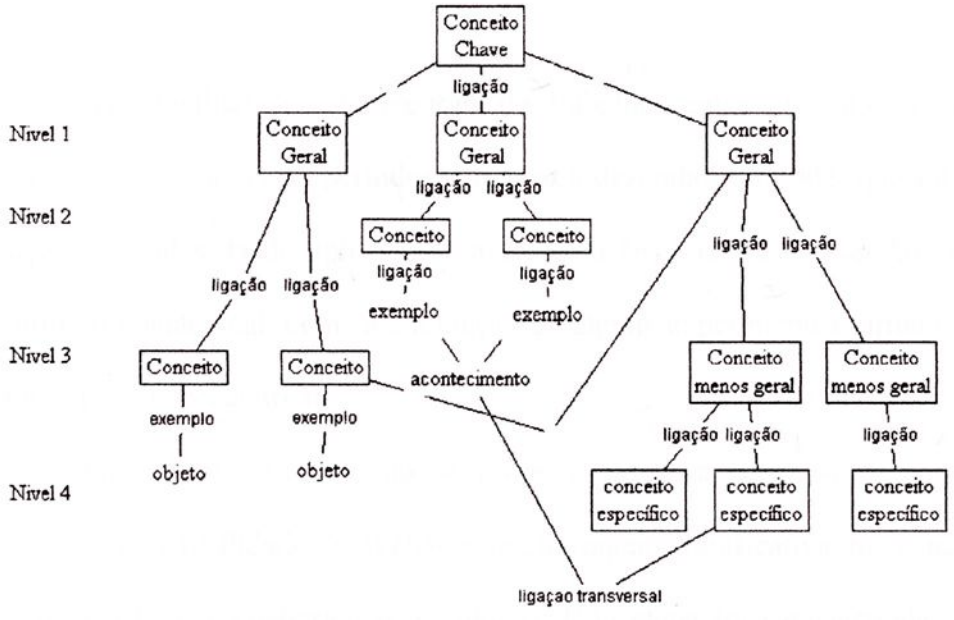


Figura 5: Esquema de um exemplo de mapa conceitual para pontuação, (NOVAK e GOWIN, 1999, p.53).

Tabela 2: Pontuação para o mapa conceitual da **Figura 5** de acordo com os critérios de Novak (NOVAK e GOWIN, 1999, p.53).

Critérios Classificatórios	***Pontuação***
Relações (válidas) 1 x 14	14
Hierarquia (válida) 5 x 4	20
Ligações transversais (válidas e significativas) 10 x 2	20
Exemplos (válidos) 1 x 4	4
Total de pontos	58

5 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para facilitar a compreensão do trabalho realizado, caracterizamos como a *primeira parte da pesquisa* o período de agosto a dezembro de 2002, que foi marcado pela observação das aulas da disciplina de Estrutura da Matéria I e a inserção do trabalho em laboratório computacional, com a simulação de alguns experimentos virtuais, dos quais foi analisado o Efeito Fotoelétrico.

Num dado momento do semestre seguinte, a pesquisa introduziu os mapas conceituais, com a finalidade de avaliar a aprendizagem significativa dos conceitos relativos ao estudo do Efeito Fotoelétrico pelos alunos. Esta etapa foi caracterizada como *segunda parte da pesquisa.*

5.1 Primeira parte da pesquisa

A primeira parte da pesquisa teve como base inicial uma investigação orientada pelos padrões utilizados dentro da perspectiva de pesquisa qualitativa (LÜDKE e ANDRÉ, 1986; BOGDAN e BIKLEN, 1999). De acordo com Bogdan, uma investigação qualitativa é permeada por cinco características definidas:

> 1. Na investigação qualitativa a fonte direta de dados é o ambiente natural, constituindo o investigador o instrumento principal.
> 2. A investigação qualitativa é descritiva.
> 3. Os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos.
> 4. Os investigadores qualitativos tendem a analisar os seus dados de forma indutiva
> 5. significado é de importância vital na abordagem qualitativa. (BOGDAN e BIKLEN, 1999, p. 47-50).



Com a finalidade de observar o comportamento dos alunos e professor, acompanhamos as aulas da disciplina de Estrutura da Matéria I, durante todo o segundo semestre de 2002, de agosto a dezembro. Neste período, foi trabalhado no dia 25 de setembro de 2002 no Laboratório Didático de Computação da Faculdade de Ciências ou LDC/FC (item 5.1.2) a simulação computacional com o experimento do Efeito Fotoelétrico, que ocorreu após os alunos terem tido aula convencional[3] sobre este assunto. Os alunos utilizaram o *software* "Fisica con Ordenador" (item 5.1.1) para a realização deste experimento.

Durante as aulas convencionais, adotamos a postura de observador passivo, com a finalidade de não alterar do ritmo normal da sala de aula. Nossa observação foi amparada com notas de aulas.

Durante a aula no LDC/FC, com a simulação do experimento do Efeito Fotoelétrico, nossa participação foi na orientação do funcionamento do *software* "Fisica con Ordenador", enquanto os alunos desenvolviam a simulação. Para facilitar uma posterior análise deste trabalho, realizamos filmagem e anotações desta aula.

Antes e depois da aula em que os alunos desenvolveram a simulação computacional, foi aplicado um questionário aberto, que pedia para que eles descrevessem o experimento em questão (Anexo III e IV). Com este questionário, buscávamos verificar o que os alunos expressariam sobre o que lhes foi transmitido.

Após o término da atividade de simulação, durante o mesmo dia, os alunos passaram para a chamada *segunda parte da aula*, onde discutiam sobre a experiência desenvolvida. Nesta parte da aula, ficou evidente nossa participação, através de perguntas que surgiram dentro daquele contexto, de acordo com o desenrolar das falas dos alunos, no sentido da busca daquilo que os alunos compreenderam.

---

3 "aula convencional" se refere à aula expositiva dada pelo professor da disciplina, em seu cotidiano, em sala de aula composta por cadeiras dispostas em fileiras, lousa e giz.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

5.1.1 O *software* utilizado para a simulação do Efeito Fotoelétrico

O *software* utilizado na simulação computacional do Efeito Fotoelétrico faz parte dos experimentos de Mecância Quântica de um curso de Física interativo - "Física con Ordenador" (GARCIA, 1998) segundo a escolha do professor responsável pela disciplina.

O acesso à simulação se dá através do endereço eletrônico *www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/FisicaModerna.htm*. Este acesso se dá sem restrição alguma para qualquer computador que esteja conectado à *Internet* e não requer instalação para a sua utilização.

Ao acessar esta página eletrônica, é aberta uma tela que apresenta uma descrição sobre o que é o Efeito Fotoelétrico e uma seqüência de atividades que orientam como fazer a simulação e o que observar.

A figura 6 (a) apresenta a primeira tela, que é a área de trabalho onde os dados são inseridos para delimitação e realização do experimento. As telas representadas pelas figuras 6 (b), (c) e (d) apresentam três etapas que podem ser observadas durante este experimento, para os seguintes valores de comprimento de onda λ=4026 Å e diferença de potencial ddp=1.35 V, para o material Césio. Após esta primeira etapa do experimento, o *software* descreve instruções para fazer o cálculo do valor de *h* (constante de Planck) com a utilização dos valores obtidos através da simulação na primeira tela, gerando um novo gráfico, que aparece descrito na figura 7.



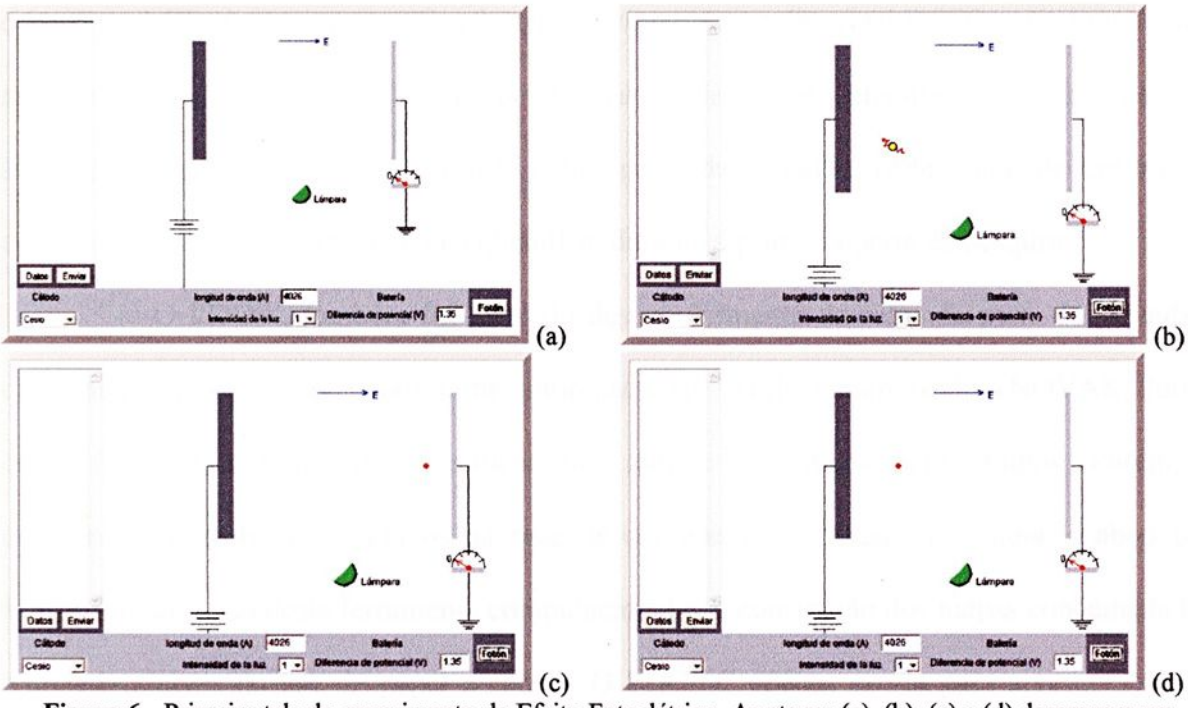


Figura 6 - Primeira tela do experimento do Efeito Fotoelétrico. As etapas (a), (b), (c) e (d) descrevem um exemplo do Experimento para λ=4026 Å e ddp=1.35 V, para o material Césio.

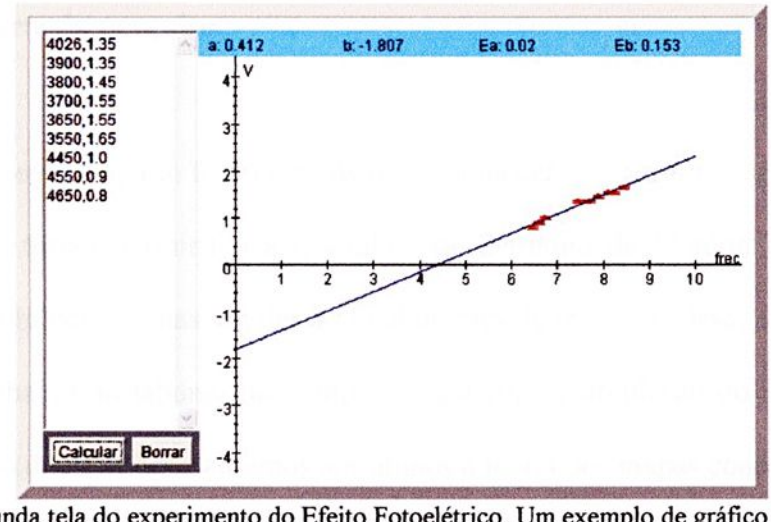


Figura 7 – Segunda tela do experimento do Efeito Fotoelétrico. Um exemplo de gráfico (V x frec), com o parâmetro a=0.412, para o qual obtemos h=6,592 x 10^{-34}Js.

5.1.2 Laboratório Didático de Computação da Faculdade de Ciências (LDC/FC)

O Laboratório Didático de Computação da Faculdade de Ciências (LDC/FC) está equipado com 60 microcomputadores Pentium 4, utilizando processadores Intel, sob o sistema

operacional *Windows* e conectados à rede *Internet*. A escolha do LDCFC está diretamente relacionada com o trabalho proposto, uma vez que envolve a utilização de simulação/visualização computacional, como parte da proposta pedagógica de ensino de conceitos introdutórios de Mecânica Quântica, durante a primeira parte da pesquisa.

O LDCFC também foi local do desenvolvimento da segunda parte da pesquisa, onde intentávamos utilizar o programa computacional "IHMC Cmap Tools" (NOVAK, 2002) como ferramenta digital de construção dos mapas conceituais pelos alunos. Porém, a ocorrência de problemas técnicos na rede de computadores durante esta aula, acabou por impossibilitar o uso desta ferramenta computacional e, a construção dos mapas conceituais foi realizada através do uso de papel e caneta. O LDC/FC apenas serviu para apresentação da teoria dos mapas conceituais, através do "Power Point".

5.2 Segunda parte da pesquisa

Esta segunda parte foi planejada para acontecer no semestre seguinte, período em que os alunos já teriam terminado a disciplina de Estrutura da Matéria I. O professor da disciplina disponibilizou apenas um dia no final do mês de maio. Por isso, após oito meses da realização do trabalho no laboratório computacional com a simulação do Efeito Fotolétrico, no dia 29 de maio de 2003 apresentamos aos alunos a teoria dos mapas conceituais

A partir desta apresentação os alunos construíram um mapa conceitual sobre o Efeito Fotoelétrico, sem material de apoio didático. O objetivo durante este trabalho foi verificar quais os conceitos que os alunos expressariam sobre este fenômeno e de que maneira estariam relacionando estes conceitos. Nesta direção, buscou-se verificar qual o significado alcançado por estes alunos sobre o Efeito Fotoelétrico.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Em nossa proposta inicial, os alunos iriam construir seus mapas conceituais com o auxílio do programa "IHMC Cmap Tools" (item 5.2.1). Por isso, esta aula aconteceu no LDC/FC, para que os alunos tivessem acesso ao computador. Iniciamos a apresentação sobre a teoria dos mapas conceituais (Anexo V) que foi feita no computador, através do "Power Point", aos alunos que estavam de posse da apostila que elaboramos sobre os mapas conceituais e o programa computacional para sua construção (Anexo VI). A apostila que elaboramos teve o título de "Construindo Mapas Conceituais", composta por duas partes: "Parte I - Noções Básicas sobre o CMap Tools" (KONRATH, 2003) e "Parte II - O que são Mapas Conceituais?" (Anexo VI) com explicações sobre os mapas conceituais e como utilizar o *software* "Cmap Tools".

Após esta apresentação, os alunos construíram individualmente um mapa conceitual para o Efeito Fotoelétrico, utilizando apenas lápis e papel, pois, naquele momento, ocorreu uma falha técnica que impossibilitou a utilização deste *software* pela rede. O problema só pode ser resolvido após a aula, pela equipe técnica, que analisou a falha e corrigiu o problema.

De posse dos mapas conceituais construídos pelos alunos, utilizamos um sistema de pontuação, com base na proposta de Novak (item 4.2) que auxiliou a análise dos mapas conceituais. Esta análise foi marcada, inicialmente, por uma tentativa de pontuar os mapas conceituais que os alunos construíram, com base nos conceitos que eles utilizaram. Não fornecemos os conceitos-chave, com a finalidade de não influenciar a construção dos alunos. Apresentamos em seguida, uma pontuação dos alunos em relação à mediana de pontuação alcançada por esta turma e a análise de cada mapa.

Posteriormente, o professor construiu um mapa padrão, do qual obtivemos os conceitos considerados chave e verificamos como os alunos relacionaram tais conceitos.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

5.2.1 O *software* IHMC Cmap Tools

Para a construção dos mapas conceituais, fez parte da proposta, a utilização do *software* "IHMC Cmap Tools" (Novak, 2002) que é uma ferramenta computacional que foi desenvolvida pelo Instituto para a Cognição Humana e Mecânica (Institute for Human and Machine Cognition) da Universidade do Oeste da Flórida. Através da página eletrônica deste instituto, é possível obter o *download* gratuito para a instalação deste *software*.

Os mapas conceituais construídos pelos alunos, apresentados no capítulo seguinte, foram digitalizados na íntegra pela pesquisadora, por meio deste *software*.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

6 AÇÕES DESENVOLVIDAS

6.1 Primeira parte da pesquisa

Este momento é marcado pelo período de agosto a dezembro de 2002, onde aconteceu a observação das aulas da disciplina de Estrutura da Matéria I e a inserção do trabalho em laboratório computacional, com a simulação de alguns experimentos virtuais, dos quais foi analisado o Efeito Fotoelétrico.

6.1.1 Observação das aulas convencionais

Acompanhei (pesquisadora) durante este período, as aulas da disciplina de Estrutura da Matéria I que aconteciam às terças-feiras, das 19h00 às 23h00 e às quartas-feiras das 21h00 às 23h00, através de observação e anotações feitas durante as aulas. Nesta etapa, procurei, conforme orientação do orientador, manter-me de maneira discreta, buscando não interferir na aula, por exemplo, com perguntas. A busca pela neutralidade no desenvolver das aulas convencionais, veio acompanhada por uma postura no relacionamento com os alunos na direção de manter uma relação entre colegas, ou seja, em pé de igualdade. Nesta direção durante as aulas, mantive-me sentada nas carteiras, ao lado dos alunos e durante os intervalos, conversava com eles sobre assuntos informais.

Após poucos dias de minha presença na aula, os alunos já demonstravam imparcialidade no tratamento. Todos me cumprimentavam pelo nome e às vezes, durante a aula, faziam comentários que só ocorriam entre alunos, como por exemplo, alguma crítica sobre o comportamento de um colega de classe, como sendo um cara "chato" ou em relação a algum ato do professor, que não foi bem aceito. Em seguida, pediam para manter segredo.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Para os alunos, eu estava copiando a matéria, o que realmente fazia, porém, discretamente; também fazia anotações sobre alguns fatos que me chamavam a atenção.

A aula apresentada pelo professor da disciplina acontecia na sala de aula comum, composta por cadeiras dos alunos, mesa do professor, lousa e giz. As aulas eram dadas pelo professor, que se mantinha na postura de expositor, durante todo o tempo. Iniciava a aula escrevendo na lousa um texto que trazia pronto de casa e que seguia perfeitamente o conteúdo e a forma apresentada pelo livro-texto de Eisberg e Resnick (1986) livro que ele havia adotado para esta disciplina e que todos os alunos tinham. Os alunos copiavam da lousa o texto que ele escrevia. Um ou outro aluno, mais interessado, não copiava o texto, pois considerava que não tinha necessidade, uma vez que tudo estava escrito no livro. Somente prestavam atenção nas explicações do professor. Ás vezes, acontecia de alguns alunos, menos interessados, não copiarem o texto da lousa, mas deixavam espaço em seus cadernos para copiar em casa de outro amigo, para se manterem em discretos diálogos paralelos com assuntos informais.

Após o ato do professor de passar na lousa o texto, ele pedia silêncio e atenção aos alunos, para que pudesse explicar tudo aquilo que ali estava escrito. De vez em quando, o professor esperava os alunos acabar de copiar, mas quando estava com pressa ou percebia que alguns alunos estavam com conversas paralelas, o professor não os esperava. Pedia silêncio e em seguida, explicava a referida parte para poder apagar a lousa já explicada e continuar a passar o texto. Ao término da explicação, geralmente o professor perguntava se os alunos tinham entendido, para poder prosseguir o texto. Como geralmente ninguém perguntava nada, o próprio professor dizia que considerava que se ninguém tinha dúvidas, era porque haviam entendido tudo.

Os alunos ouviam em silêncio as explicações do professor. Muito raramente algum aluno fazia alguma pergunta. Às vezes, alguns alunos comentavam comigo, em tom

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

baixo, para que o professor não ouvisse, que não estavam entendendo nada e que não havia jeito, a não ser depois estudar sozinhos, em casa, o texto e pedir ajuda para outros que podiam estar entendendo melhor.

A postura dos alunos, durante as aulas, era de receptores passivos, que na realidade não assimilavam quase nada daquilo que o professor estava falando.

Ao término do capítulo do livro dado aos alunos, o professor dividia a classe em cinco grupos de três alunos, para que fizessem os exercícios apresentados no final de cada item do livro-texto. O professor escolhia duas a quatro questões diferentes para cada grupo, de modo que cada um respondesse a perguntas mais simples e mais complexas. As mais simples geralmente estavam localizadas nos exercícios iniciais e requeriam explicações apenas conceituais, de fáceis resoluções e conforme um exemplo já resolvido. As mais complexas vinham depois, mais ao final e necessitavam de explicações conceituais bastante profundas e de recursos matemáticos bastante complexos, para que pudessem ser resolvidos.

A aula que iniciou a introdução sobre o Efeito Fotoelétrico, aconteceu no dia 27 de agosto de 2002, numa terça-feira, após o intervalo das 21h00 às 21h15 depois da explicação sobre o descobrimento do elétron e os experimentos realizados por Milikan, em 1909, iniciou a apresentação do experimento de Hertz que aconteceu entre 1886-1887. O professor desenhou na lousa uma figura do experimento (conforme mostrada no livro-texto) e explicou como funcionava tal experimento. Em seguida, colocou o gráfico corrente versus Voltagem (V x I) e explicou o potencial limite. Depois, desenhou o gráfico freqüência versus Voltagem (ν x V) comparando a luz com bolinhas, alcançando o ponto de explicação sobre a dependência entre o potencial limite e a freqüência da luz.

No dia 28 de agosto de 2002, numa quarta-feira, teve continuação a aula que abordou o tema anterior. Nesta aula iniciada aproximadamente às 21h30, o professor ressaltou o que a Teoria Clássica previa sobre o comportamento da luz, como sendo uma onda. Em

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

seguida, verificou que esta teoria não conseguia explicar os fenômenos observados do Efeito Fotoelétrico e apresentou a Teoria Quântica do Efeito Fotoelétrico, de acordo com a seqüência, em conteúdo e forma do capítulo 2 do livro-texto.

Na aula seguinte, terça-feira, de 10 de setembro de 2002, o professor termina o capítulo 2 e em seguida inicia uma discussão com os alunos sobre o capítulo 1 e 2. Após o intervalo da aula, o professor pede para que os alunos formem os cinco grupos e distribui aleatoriamente duas questões do capítulo I e II para cada grupo, sendo um de cada capítulo. Os alunos, agora organizados em grupo, têm um período para resolver os exercícios e apresentar a resolução na lousa, em seguida. Todos os alunos conseguem responder os exercícios e pouco foi escrito na lousa, pois a explicação foi mais conceitual e os alunos puderam falar.

Na aula seguinte, dia 17 de setembro de 2002, o professor iniciou com a introdução ao capítulo 3. Após o intervalo da aula, o professor mais uma vez distribuiu problemas aos alunos, que agora estavam reunidos em grupos, os mesmos da aula anterior, para resolvê-los. Estes problemas fizeram parte daqueles que estão localizados mais no final e exigem uma compreensão maior da parte conceitual e mais complexa da linguagem matemática. Os alunos estavam concentrados, buscando resolver os problemas que tinham à sua frente. Alguns se levantavam e iam até o professor para que os ajudassem no direcionamento da resolução. O professor se mostrava disposto em ajuda-los, porém não gostava de responder tudo para o aluno. Geralmente o professor procurava conduzir o aluno para que ele refletisse sobre determinado ponto, que auxiliaria a compreensão da resolução. A resolução destes problemas elaborada pelos grupos foram entregues ao professor ao final da aula, que concordou que os alunos as apresentassem na próxima aula, devido ao avançado da hora. A aula seguinte foi no dia 24 de setembro de 2002, quando os alunos a utilizaram toda para explicar a resolução dos problemas iniciados na aula anterior.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

6.1.2 Descrição da aula do Efeito Fotoelétrico no LDC/FC

Durante a primeira parte da pesquisa (2º semestre de 2002) ocorreu no dia 25 de setembro de 2002, o trabalho com a simulação computacional do Efeito Fotoelétrico realizado com os alunos, seguida pelo debate sobre o tema da simulação. As atividades tiveram lugar no Laboratório Didático de Computação da Faculdade de Ciências (LDCFC) da UNESP, câmpus de Bauru.

6.1.2.1 Público-Alvo e Local

Os alunos[4] *R, Ag, O, F, Fr, K, Rt, A, E, Gl, Ad, M,* participaram desta primeira parte da pesquisa. Todos estavam no sexto semestre do Curso de Licenciatura em Física e cursavam a disciplina Estrutura da Matéria I durante o período noturno. Dentre estes, 9 alunos se encontravam com idade entre 20 e 23 anos. Verificou-se que seis alunos trabalhavam durante o período diurno (*R, Ag, F, Fr, Rt, Ad)* e dois alunos (*K* e *E*) desenvolviam pesquisa de iniciação científica; apenas um aluno (*Ag)* tinha outra formação de nível superior.

Os alunos também foram investigados sobre suas experiências com o uso do computador e verificou-se que todos os alunos utilizavam o computador como editor de texto, sendo que nove alunos (R, M, K, Fr, F, E, Ag, Ad, Rt) afirmavam utilizar o computador diariamente e três (O, Gl, A) o utilizavam esporadicamente. Dos alunos, quatro pertencentes ao primeiro grupo (R, M, Fr, E) e um do segundo grupo (A) alegaram utilizar o computador para investigação na *Internet* e Simulação. Apenas cinco alunos, quatro do primeiro grupo (K, F, Ag, Rt) e um do segundo (Gl) declararam utilizar o computador apenas para a *Internet*, além do editor de texto. E apenas dois alunos confirmaram a utilização do computador



somente como editor de texto, um do primeiro grupo (Ad) e um do segundo (O). Destes, apenas um (O) só o utiliza como editor.

A grande maioria dos alunos alegou ter acesso aos computadores na faculdade e em casa, sendo que todos aqueles que trabalhavam, também tinham disponibilidade de acesso ao computador em seu local de trabalho. Verificou-se também, que todos os alunos já haviam trabalhado com computador em outras disciplinas, dentre as quais, a disciplina Física Computacional, a mais citada e na qual os alunos utilizaram linguagem de programação Fortran. De uma maneira geral, os alunos se mostraram otimistas quanto ao uso dos computadores e reconheceram a importância desta ferramenta em função das experiências que tiveram.

6.1.2.2 Descrição da primeira parte da aula o Efeito Fotoelétrico no LDC/FC

A sala foi ocupada pelos alunos de modo a satisfazer a condição de um aluno por computador, porém os lugares foram de livre escolha. Para cada experimento, foi distribuído um roteiro (Anexo II) escrito em português, aos alunos, a fim de que pudessem acompanhar a proposta oferecida no nosso trabalho. A partir daí, pedia-se aos alunos para digitar o endereço eletrônico apresentado pelo respectivo roteiro, para iniciar o trabalho com o *software* "Física con Ordenador", disponível na dada URL da *Internet*.

A idéia de oferecer um roteiro, foi pelo fato de estarmos trabalhando com o programa "Física con Ordenador", escrito em Espanhol, que apesar de ser uma língua que se assemelha à Língua Portuguesa, apresenta algumas palavras que são bastante distintas, podendo causar confusão e dificultar a compreensão dos alunos, conforme observamos durante o experimento. Então, com a finalidade de facilitar a compreensão das explicações das atividades fornecidas pelo *software* e dos conceitos que seriam trabalhados, entregamos o

---

4 Optou-se por utilizar letras para se referir aos alunos, a fim de preservar sua identidade.



roteiro traduzido para a Língua Portuguesa. Nossas explicações foram ouvidas pelos alunos e acompanhadas através da visualização simultânea no computador.

Primeiramente, retratou-se o contexto, que foi apresentado com breve comentário sobre a primeira página que descreve o que é o Efeito Fotoelétrico e, em seguida, o roteiro para a utilização do programa computacional. Na seqüência, foi apresentada a primeira tela (figura 6) a área de trabalho, onde eles iriam iniciar a introdução dos primeiros dados para a realização do experimento. Em seguida, foi apresentada a segunda tela (figura 7). Nela os alunos visualizavam o experimento que era representado graficamente, após a obtenção dos valores com o experimento na primeira tela, dando para tais valores o significado numa linguagem matemática. Através dos valores obtidos nesta segunda tela, os alunos podiam calcular, de acordo com o procedimento descrito pelo roteiro (Anexo II) a constante *h* de Planck.

As primeiras dúvidas começaram a surgir quando os alunos iniciaram o trabalho na primeira tela, referente a que valores eles deveriam utilizar. Os valores a serem utilizados seguiam a seqüência dada pelo roteiro entregue aos alunos, referiam-se ao material da placa metálica, o comprimento de onda (em Å com quatro dígitos) a intensidade de radiação e a diferença de potencial fornecido pela bateria. Os alunos foram orientados para lerem com atenção os passos a serem seguidos, de acordo com o disposto pelo roteiro e escolhessem alguns valores de modo a experimentar e verificar o resultado que obteriam para cada valor utilizado.

O professor tinha a intenção de que os alunos investigassem o experimento oferecido por este *software*, uma vez que o conteúdo programático já havia sido dado por ele, em sala de aula, através de aula convencional, conforme acontecia desde que começou a lecionar esta disciplina.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

De acordo com a instrução apresentada na primeira tela (figura 6) verificamos nesse momento, que cada aluno estava testando valores para a diferença de potencial e o comprimento de onda, individualmente, conforme instrução do roteiro.

A próxima dúvida que surgiu entre a maioria dos alunos, foi sobre a segunda tela (figura 7). Nesta etapa os alunos deveriam seguir a descrição dada no item II do roteiro (Anexo II) - "Resultado". Este item apresentava uma representação gráfica dos dados (comprimento de onda e diferença de potencial) obtidos a partir do experimento da primeira etapa (primeira tela) com a reta que melhor se ajustava aos dados obtidos. Através do valor da tangente à reta, dado pelo parâmetro a, que mede o coeficiente entre as constantes *h/e* (constante de Planck/carga do elétron) os alunos poderiam calcular o valor de *h*. Mais uma vez, eles foram instruídos para que seguissem o disposto no roteiro e verificassem o que estava acontecendo.

Durante a aula, observamos que a maioria dos alunos se apresentou motivada a participar, pois demonstravam interesse ao interagir com a simulação do experimento. Caracterizamos esta parte como *primeira parte da aula* e apresentamos, mais à frente, os trechos transcritos das atividades durante a primeira parte da aula (item 6.1.2.2.1).

No final da primeira parte da aula, observamos que a maioria dos alunos já havia conseguido fazer a simulação do fenômeno. Após o término da simulação pelos alunos, ocorreu um período de discussões, onde o professor da disciplina fez perguntas sobre o que eles tinham compreendido sobre o fenômeno. Caracterizamos este momento como a *segunda parte da aula* e apresentamos mais adiante, a transcrição das atividades da segunda parte da aula. Através da fala dos alunos, foi possível detectar algumas "falhas" de interpretação sobre o fenômeno.

Coube ao professor a tarefa de orientar os alunos posteriormente aos experimentos, durante o debate, no sentido de conduzir a uma melhor compreensão dos

alunos e construção de um vocabulário científico, uma vez que eles apresentavam explicações para o experimento, trabalhado numa linguagem coloquial e não científica.

6.1.2.2.1 Algumas dificuldades dos alunos durante as atividades da primeira parte da aula

A transcrição abaixo, foi feita para os alunos F, K e M em relação à dificuldade de interpretação do item 7 do roteiro, que lhes pedia a modificação do potencial da bateria até que o elétron chegasse junto à placa oposta, no momento em que o amperímetro deixasse de marcar a passagem da corrente. A falta da palavra "de" neste trecho do texto "...deixe de marcar...", foi corrigido e esclarecido, logo no início do experimento. Este fato nos chamou a atenção, pois observamos aí a importância da clareza da escrita, para que os alunos conseguissem interpretar corretamente o texto e conseqüentemente, a simulação. Os trechos abaixo transcritos, apresentam a dificuldade da maioria dos alunos, em especial de K e M que mesmo após o esclarecimento, tornaram a ter dúvidas sobre este item e a facilidade de F, que conseguiu observar que algo não estava condizente com a simulação.

Pesq: "Modificar o potencial da bateria até que o elétron chegue junto à placa oposta, no momento em que o amperímetro deixe de marcar a passagem da corrente. Deixe de marcar a passagem da corrente, ou seja, ele (elétron) vai chegar junto, ...o que vocês observaram?...ele (elétron) não passa, não encosta lá na placa...deixa de marcar. Faltou um 'de', e isto dá a impressão de que é para 'fazer' com que ele passe, e, é exatamente o contrário, se vocês puderem corrigir?...ou impeçam de marcar a corrente... Será que isto causou algum problema no entendimento?".

Alunos: "Não, nenhum problema".

F: "Já tinha percebido que era isto (deixe de marcar)!".

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

K também teve dúvidas em relação ao item 7, então repito a explicação sobre a necessidade de corrigir este item passando a se ler "deixe de marcar a corrente", conduzindo-a a compreender o significado deste item para a compreensão do exercício.

Em seguida *M* também tem dúvidas sobre este item. Dou as mesmas instruções que dei para *K*. *M* não estava percebendo quais os valores deveria colocar e nem para quê, então releio com *M* o item 7, frisando o que acontece com o elétron quando o amperímetro deixa de marcar a corrente.

Após 59 minutos do início da aula, *F* conseguiu fazer o gráfico, ou seja, conforme aprendeu na aula e comemora. *M* vai ver como está ficando o gráfico de seu amigo que está ao lado. Em seguida, alguns alunos também já conseguiram terminar os gráficos da segunda parte (segunda tela).

Neste momento, a maioria dos alunos está quase acabando a construção dos gráficos e passando para a segunda parte, conforme sugestão do roteiro: calcular a constante de Planck, *h*. Neste momento, alguns alunos reclamam que não podem fazer o cálculo do *h*, pois não têm calculadoras. Então é explicado em voz alta, para todos ouvirem, a existência de uma calculadora oferecida pelo sistema operacional *Windows*. Observo então, que a maioria dos alunos não sabia da existência desta calculadora. Após uma hora e vinte e sete minutos, todos os alunos haviam terminado as duas partes do experimento (1ª e 2ª telas).

6.1.2.3 Transcrição das atividades da segunda parte da aula

Logo após o término das atividades com a simulação, iniciou-se o período de discussões. O professor destacou ser importante o debate ao final do trabalho como um meio para que ele pudesse verificar o que os alunos tinham compreendido sobre o fenômeno em

questão. O professor fez perguntas aos alunos e estes responderam de acordo com o que estavam compreendendo. Os alunos também fizeram perguntas, no decorrer das discussões.

A discussão foi filmada e está apresentada sob transcrição, na qual procuramos manter a integridade das falas. Em alguns momentos aparecerá, entre parênteses, trechos escritos por nós, no intuito de trazer compreensão ao leitor sobre o significado de algumas frases que parecem sem sentido ou incompletas. Observamos que o professor foi o responsável pelo início das interrogações.

Prof: "Em primeiro lugar, gostaria de saber se vocês conseguiram pegar mais alguma idéia sobre o Efeito Fotoelétrico. Sim ou não?"

O: "Um processo assim, uma coisa que é difícil da gente visualizar assim, apenas falando, né? Um processo assim, de movimento; porque isto é uma coisa assim, porque os fótons e elétrons, isto é uma coisa que tem que se imaginar, isso é uma coisa bastante de sentimento dessa visualização."

R: "Eu acho, assim: quando se trabalha, mesmo sendo uma simulação computacional, fixa muito mais, assim, porque a gente está trabalhando com aquilo ali, fixa, muito mais; na aula eu já tinha esquecido muita coisa do Efeito Fotoelétrico, no entanto, quando eu fui responder a pergunta (o questionário aberto antes da simulação), tá, eu 'viajei', tem muita coisa que você esquece, agora quando se trabalha no computador, você fixa mais, é mais difícil esquecer."

Prof: "Agora....quando a gente estava conversando, da outra vez, é que tem que tomar bastante cuidado quando a gente faz este tipo de fixação, por ser uma representação completamente clássica de coisas que acontecem a nível quântico, então sempre tem que se lembrar que estamos formando uma imagem na cabeça de coisas, não necessariamente, que vocês têm uma representação clássica, ...,

como os elétrons, vocês têm uma bolinha e realmente não é!..."

Prof: "A parte mais crítica...que vocês tinham mais dificuldade de entender era o que é potencial de corte. Vocês conseguiram entender?"

(A maioria dos alunos afirmou que entenderam o que é potencial de corte).

R: "O potencial...quando você emite uma luz...uma radiação...uma luz...a placa vai emitir um elétron; depois, com o potencial que você coloca entre as duas placas, ele tem um certo potencial, se aquele potencial for grande o campo vai ser grande também e vai segurar bastante elétrons, vai chegar a um certo ponto que o elétron não vai conseguir chegar até a outra placa que é o potencial de corte. Quanto mais você vai aumentando o potencial entre as placas, mais difícil fica de o elétron chegar a outra placa, vai aumentar até um certo ponto que o elétron não vai conseguir chegar até a outra placa."

Prof.: " Tá certo (perguntando para a turma)? Você deve explicar direito,...porque está assim, mais ou menos..." (o professor não gostou da explicação, achou incompleta).

Fr: "É o que R falou, mas eu penso o seguinte..."

Prof: "Tem um detalhe que ele falou,...assim.."

Fr: "Quais são os detalhes?"

Prof: "Fala o que você ia falar!"

Prof: (interrompe e diz) "Tem um detalhe que ele falou,...quando eu vou aumentado o potencial, eu vou brecando os elétrons, isso aí,..."

R: "Mantém as outras coisas constantes."

K: "Acho que é o contrário, que quando vai aumentando..."

Ag: "O que mostra aqui é o seguinte, que o potencial de corte está em função do

comprimento de onda..., se você mantém o comprimento de onda, você não vai mudar o potencial de corte."

Fr: "Claro (concordando). Para cada comprimento de onda você vai ter um potencial de corte diferente."

Prof: "Vamos supor que você fixa o comprimento de onda. Só vai trabalhar com o potencial."

Ag: "Daí, o potencial de corte fixa o comprimento de onda?"

Prof: "Não, tudo bem, mas, o que isto significa? Por que ele falou que aumentando o Potencial de corte os elétrons serão retardados?"

K: "Terá mais dificuldade para a passagem da corrente."

Prof: "Tá, mas, como se comporta este potencial? Por que se eu falar literalmente o que ele falou, tá, se tenho um certo potencial, pela experiência, o que eu estaria fazendo, era acelerar os elétrons?"

R: "Na verdade a energia potencial tem que ser para brecar, ela tem que ser maior que a energia cinética dos elétrons, dos elétrons que saem."

Prof: "Quando você aumenta a energia potencial, você aumenta a energia cinética."

R: "Não; a energia cinética contrária!"

Prof: "Você aumenta a diferença de potencial!"

K: "A energia cinética, aqui, não..."

Fr: "Pelo que eu tô vendo, a corrente eletrônica está neste sentido, e o campo elétrico está neste sentido aqui e o elétron está vindo." (contrário ao elétron, mostrando com as mãos).

Prof: "Mas, espera aí! A pergunta é a seguinte: durante um experimento inteiro, o potencial tem o mesmo sinal?"

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

R: "Não!"

K: "Não!"

R: "Até um certo ponto ele vai estar oposto ao movimento do elétron, se ele não brecar o elétron, ele vai estar sempre oposto ao sentido do elétron, se ele não conseguir brecar; agora se ele conseguir brecar, até certo ponto ele vai estar oposto e depois, aí o elétron vai mudar o sentido e a velocidade dele logicamente o potencial vai se tornar na mesma direção."

Ag: "Você tem que ter um potencial para arrancar o elétron do átomo e depois você tem mais um potencial para dar energia cinética ao átomo, então você tem estes dois."

(Alguns alunos não concordam).

Ag: "...o fóton tem que dar energia suficiente ao elétron para arrancar, ...para vencer o potencial."

R: "Caso ele passe, o potencial vai ter sempre o sentido da emissão, porque a velocidade do elétron vai estar sempre no mesmo sentido, vai estar passando, então potencial vai estar no sentido contrário, no sentido de brecar o elétron, caso ele consiga brecar (o elétron), no meio da velocidade do elétron, vai atingir zero e ele vai voltar a velocidade negativa, quer dizer, o potencial vai estar no mesmo sentido da velocidade, impulsionando o elétron."

Fr: "Repete isto que você disse!"

(Risos).

(R vai até a lousa para desenhar, explicando, o experimento do Efeito Fotoelétrico).

Prof: "Vocês estão brincando!?" (chamando atenção dos alunos que começaram a rir e fazer brincadeiras, após a ida de R à lousa. Então, todos silenciam).

unesp

R: (explicação) "Tem uma placa aqui e a outra aqui... você tem um emissor de luz aqui. Quando você emite luz, excita o elétron e ele vai sair com uma certa velocidade..."

(Alguns alunos ajudam R em sua explicação).

Fr e Rt: "...e certa energia cinética..."

R: "...energia cinética de acordo com..."

Fr e Rt: "...um dado campo."

R: "...com um comprimento de onda da luz emitida, esta energia cinética pode ser suficiente para atravessar, chegar de uma placa a outra, se ela for suficiente, o potencial vai ser sempre no sentido de brecar o elétron."

Prof: " Vamos por parte. Vamos supor que a gente está com potencial..."

R: " Neste caso o potencial é menor que o potencial no início para brecar o elétron."

Prof: " Você está falando agora que você tem um potencial negativo, você, ao contrário do outro que você tinha corrente normal...não está no sentido da aceleração...está ao contrário...Pode-se verificar que o potencial está ficando mais negativo."

R: "É!"

Fr: "Se por acaso alguém fez o experimento do potencial de zero, constante, mexendo só no comprimento de onda? Alguém teve curiosidade?"

Prof: "Você fez?" (perguntando ao Fr).

R: "O que aconteceu?"

Fr: "Eu fiz. O elétron não é brecado, a velocidade dele vai depender do comprimento de onda para ser brecado; não é brecado!"

(Este aluno inseriu na classe um dado que nenhum aluno tinha

observado, ou seja, não tinha utilizado na simulação um valor negativo para a diferença de potencial. Observamos que este momento foi importante para a troca de informações entre os alunos. Apesar de todos terem disponível a mesma ferramenta, nem todos observam e a utilizam da mesma maneira, podendo originar daí, algumas diferenças de compreensão entre os alunos da turma).

R: "Então, o potencial é a energia cinética ao contrário, ele fornece aceleração no sentido contrário ao movimento do elétron, quando ele está na mesma direção." (mostra na lousa, num movimento com as mãos da esquerda para a direita. O Prof sugere que os alunos voltem ao computador para verificar o que acontece no experimento e tentar compreender melhor o potencial de corte).

Prof: "A gente pode sentar no computador para estudar direitinho isto, inclusive a pergunta: o que é potencial de corte? Ou mesmo, o que acontece quando o potencial é negativo, e quando é positivo, o que acontece?"

(Porém os alunos se mostram resistentes e procuram explicar sem ter que voltar para o computador de novo. Então R começa a explicar e E complementa, e os outros alunos também demonstram estar concordando com seus colegas).

R: (explica) "o potencial de corte é o limite que ele chega aqui (mostra as placas desenhadas na lousa) não é transmitido pela placa e volta, este é o potencial limite, né, ... vai diminuindo, ele, até que não tem absorção no caso dele..."

E: "Ele está na mesma direção, tá empurrando."

(Alguns alunos concordam)

Prof: "Todo mundo tem claro aí? Vocês acham que é interessante fazer o "negocinho" (experimento no computador) para ...."

E: "Todo mundo sabe o que acontece... tem claro!"

unesp

Ag: "Acho que voltar no computador ninguém vai conseguir fazer!"

(A maioria do alunos demonstra não querer voltar para o computador).

Pesq: "Posso sugerir... dêem uma olhada no roteiro que vocês anotaram, porque todos anotaram. O que vocês observaram aí?"

Rt: "Eu fiz para o alumínio, .. num, com 2000A (ampères) houve a emissão, então coloquei um ddp menor que 2,4, ele vai de uma placa a outra..., então para um ddp maior que 2,4 ele sai e volta, não atinge lá e volta. Então, quanto maior o ddp que eu colocava, mais rápido ele chegava lá e voltava."

Prof: "Você estava com potencial negativo?"

Rt: "Não, conforme eu aumentava..." (*E* complementou *Rt* dizendo: 'conforme ela aumentava').

R: "Depende professor..."

Prof: "Aumentar é módulo!"

Rt: "Ah, tá!"

Prof: "Vocês têm que lembrar é o seguinte: a figura que vocês têm que entender (vai a lousa) é está aqui. Aqui tem a voltagem; aqui tem a corrente (desenha um gráfico cartesiano VxI) e aqui tem a ddp para as duas intensidades (desenha as duas figuras sobre o gráfico, partindo de um mesmo ponto na reta V de valor negativo que ele chama de i). Então a idéia é a seguinte, nesta região (mostra o eixo da ddp para valores maiores que zero), estou acelerando os elétrons, então o potencial é positivo. Agora, nesta região (mostra o eixo da ddp para valores menor que zero, até chegar no ponto de origem da figura desenhada) que o potencial é negativo, estou brecando os elétrons, e vou aumentando em módulo o potencial em módulo (daí ele corrige), digamos que aqui é negativo (mostrando o

ponto de partida da figura desenhada, acrescentando um sinal de menos na frente de i) é menos...vou colocando uma carga negativa, até que ele não consiga chegar na placa." (mostra o gráfico na lousa indo de –i até ponto (0,0)).

E: "Mas o meu deu positivo!"

R: "A gente está falando em relação ao movimento dos elétrons."

(Neste momento os alunos comentam entre si o que está acontecendo. Começam a discutir sobre a definição de potencial de corte. *Ag* explica, apresenta uma explicação errada para a definição de potencial de corte).

Ag: "O que é potencial de corte?"

R: " Ah, o potencial de corte é o movimento que breca o elétron."

Ag: "Não. O potencial de corte é a quantidade de energia necessária para arrancar o elétron da placa."

Fr: "O potencial de corte é a menor energia..."

R: "O valor do potencial, aqui no caso é negativo só quando ele está para cá, quando ele tá voltando, ele se torna no sentido do elétron, entendeu? Ele é negativo até aqui."

Prof: "Não!... você coloca e fixa o valor do potencial, o elétron pode ir e vir, ou simplesmente ir, mas o potencial sempre tem o mesmo sinal."

(*F* exprime suas dúvidas sobre o que acontece quando se coloca um potencial negativo. Nesta afirmação percebe-se que *F* não está conseguindo visualizar as explicações dos alunos).

F: "Olha professor, eu só usei para simular o potencial positivo, não estou entendendo!"

Fr: "Se colocar negativo dá acelerado, .. ele vai mais rápido."

F: "Não estou entendendo o por quê do potencial negativo!"

193 (Os alunos começam a conversar uns com os outros, tentando
194 encontrar uma explicação sobre quando se usa o potencial negativo. Então o
195 professor sugere aos alunos que voltem para o computador e verifiquem o que
196 acontece na simulação).
197 Prof: "Vocês têm que usar no computador..."
198 Pesq: "Ninguém fez com sinal negativo?"
199 Prof: "...isso aí é para ser feito no computador,... o que acontece quando vocês
200 vão mudar o sinal, vão diminuindo o potencial, passam para negativo, tá?"
201 Fr: "...observar a oscilação..."
202 Prof: "Ele colocou o sinal contrário!" (apontando para *Fr*)
203 Fr: "Ao contrário mas é acelerado!"
204 Prof: Ao contrário do que colocou o Eisberg (livro utilizado em sala de aula),
205 para o potencial negativo tá acelerando, e aí o potencial negativo está
206 acelerando..."
207 Fr: "Não seria simplesmente o fato, porque eu chamo este potencial de corte, é...,
208 não seria simplesmente pelo fato de que, para haver o Efeito Fotoelétrico tenho
209 que ter a emissão de um elétron do cátodo para o ânodo, ou do cátodo para o
210 ânodo?,... tem que ter a emissão do cátodo para ânodo."
211 Prof: "São duas coisas diferentes; para você ter o Efeito Fotoelétrico você tem
212 que ter uma energia, o fóton tem que ter uma energia no mínimo igual a função de
213 trabalho pra ter o Efeito Fotoelétrico. Digamos para ser liberado o elétron. Agora
214 para o elétron chegar na outra placa, aí são outros quinhentos!"
215 Fr: "Não, mas o Efeito Fotoelétrico, a partir do momento em que sai o elétron
216 dali, tem o Efeito Fotoelétrico? Ou como posso dizer que tem essa detecção da
217 corrente?"

unesp

Prof: "Sim."

Fr: "A detecção não é feita no ânodo pela passagem da corrente?"

Prof "É."

Fr: "Então, se não chegar o elétron no ânodo, não tem...?"

Prof: "Mas aí, vamos supor que..."

(Os alunos começam a falar junto com o professor).

Prof: (Retoma) "Mas a princípio, digamos que se você tem uma energia pela onda, é igual a função de trabalho, então você vai ter um elétron com energia igual a zero, mas a ddp entre as placas, você vai ter o Efeito Fotoelétrico."

(Os alunos continuam discutindo entre si).

Prof: "Claro, mas aí, você vai ter um elétron com energia cinética igual a zero, vai ser liberado, mas não vai ter a corrente, digamos; mas você vai conseguir liberar o elétron. Neste experimento você não vai detectar o elétron, digamos, uma coisa diferente para detectar este elétron que saiu da superfície... (*Fr* interage acompanhando e concordando com o professor e os outros alunos não estão atentos às explicações do professor) ... na verdade a tendência é um pouquinho maior que a função de trabalho, a energia fornecida, para que ele chegue com energia cinética mínima..."

Fr: "Qual era a pergunta?" (risos)

(Mais uma vez o professor sugere aos alunos que voltem ao computador para verificar este item, porém eles não querem. Até que *Ad* volta e começa a citar o que está acontecendo com os elétrons, quando o potencial é negativo e quando é positivo).

Prof: "Não, eu propus, que vocês vissem no computador novamente o que acontece com o Efeito, quando vocês mudam o sinal do potencial."

unesp

Ad: "Quando o potencial é positivo, o movimento é retardado e quando, ele coloca o potencial negativo, ele acelera os elétrons."

Pesq: "Vamos voltar ao computador?!"

R: "Não, nós já entendemos, professor. Ele está ao contrário...."

Gl: "Quando ele está ao contrário..."

(*R* começa a explicar na lousa de acordo com o que compreendeu, chama de realidade o seu significado para esta explicação. E então surge uma discrepância entre o que os alunos observaram no experimento simulado e o que aprenderam no livro do Eisberg).

R: "Na realidade, partir daqui, no Efeito, no potencial positivo (mostra a lousa) você, no caso, seria acelerado os elétrons, negativo você ia brecando elétrons, até que chega um ponto que o elétron não consegue passar de uma placa para outra."

Fr: "Então, aqui ele é acelerado."

Prof e R: "Não!"

R: "Aqui na teoria é..."

Prof: "No Eisberg, quando ele (elétron) tem o potencial positivo, ele é acelerado."

R: "Positivo, ele (elétron) é acelerado e aqui, ele (elétron) está sendo brecado, até certo ponto, porque não há passagem de corrente, a corrente é zero. É só convenção."

Prof: "Não sei que partes ele está usando aí!"

Pesq: "Aqui varia muita coisa. Varia desde o início, que é o material."

Fr: "A freqüência, o comprimento de onda..."

Prof: "O que seria potencial de corte?"

Prof: "Explica outro, que o *R* já foi!... explica outro, resumidamente,...*A* quer

explicar... vai *F*...vai *M*..." (Observamos que neste momento o professor quer alcançar uma interação entre os alunos que não haviam falado até agora).

M: "Eu já falei um negócio, mas estava errado..."

Prof: "Tá todo mundo indo!..." (alguns alunos começam a sair).

Pesq: "Eles poderiam falar o que eles fizeram..."

Prof: "Ou preferem escrever?"

(Todos os alunos dizem que não querem escrever. Neste momento, percebe-se a opção pelo mais rápido e o mais rápido é a fala).

Prof: "Não há necessidade de escrever novamente, eles já escreveram."

Prof: "Antes da experiência?"

Pesq: "Antes da experiência não. O que eles fizeram agora, durante o experimento. Comentar o que eles observaram, do que eles têm em mão..."

(A discussão 'mexeu' com a concepção de *Ag* sobre o conceito do Efeito Fotoelétrico).

Ag: "Para ser claro e franco com o senhor (com o professor), tô mais confuso no momento agora, do que quando entrei na sala,...(risos)...eu tinha uma certa concepção...e agora, bagunçou ....agora...."

Prof: "Tem duas alternativas: que você estava errado, tá? E você tinha uma idéia diferente do que você estava pensando. Ou, que você estava pensando, estava errado, tem duas alternativas."

(*Ag* demonstra interesse em expressar o que está pensando para poder 'esclarecer' suas dúvidas e organizar suas idéias sobre este fenômeno. Durante sua fala, que é assistida pelo professor e alguns alunos, *Ag* se expressa errado sobre o fenômeno).

Ag: "O potencial de corte, na verdade, o nome dele, que dizer, ...agora estou

confuso... não sei qual que é ... eu entendi o seguinte: que existe uma energia que é uma energia necessária do elétron para arrancar o elétron do metal, tá? Aí então, o que eles (amigos) falaram aí, que tem uma energia necessária que é uma energia trabalho."

R: "Emitida pelo fóton, é?"

Ag: (repete o que *R* disse) "emitida pelo fóton, ... agora esta luz, ela tem um comprimento de onda, né?... é essa energia que é necessária pra arrancar o elétron, depende do material. Ah, o potencial elétrico não depende da intensidade da energia, quer dizer, a intensidade da corrente, ela não interfere nesse dado, nesse potencial aqui, só que existe não sei onde que está aqui, que eu entendi, é que existe um freqüência mínima, necessária, para ocorrer o efeito da relatividade."

Prof: "Relatividade não!"

R: "Não é da Relatividade, é do Efeito Fotoelétrico!"

(Os outros colegas de *Ag* vão explicando suas dúvidas).

Ag: "Ah, eu sei! É Efeito Fotoelétrico. A partir daí, você teria uma teoria que não é clássica, abaixo disso (mostrou a lousa) uma teoria que é clássica. Então, isto aí eu entendo, agora quando o senhor perguntou o que é potencial de corte, agora estou confuso em determinar onde é que fica este potencial de corte."

R: "Não, mas isso não tem nada a ver com a emissão, depois que você emitiu, beleza, ele vai ter uma certa velocidade."

F: "Já ocorreu o Efeito Fotoelétrico!"

R: "É, já ocorreu, isto aqui é outra coisa, o que se diz para brecar o elétron."

F: "Já ocorreu, .. é o mínimo potencial.."

R: "Você já arrancou ele (elétron)."

(Porém *Ag* não consegue entender o que é potencial de corte).

Ag: "Se você já arrancou ele (elétron), ele tem uma energia cinética que depende do que ele recebeu da luz elétrica, da radiação elétrica, então, esta energia cinética tem um valor que depende desta freqüência, tá?...até onde vai ou não vai esta freqüência, eu não sei, quanto mais longe o elétron vai. Agora, classificar o nome 'potencial de corte' nesta história toda, eu não sei..."

(*F* busca compreender o que é potencial de corte, através de suas explicações. Em seguida o professor faz uso de uma analogia com a Física Clássica para explicar este acontecimento).

F: "Professor, tem um mínimo potencial que o campo elétrico consegue capturar, ainda, o elétron... (os alunos estão falando entre si) ...para mandar de volta o elétron. É isso?"

Prof: "..os elétrons vão acelerando, de repente, começa a diminuir o potencial... até que o potencial passa a ser negativo; o potencial negativo, ao invés de acelerar os elétrons, ele vai continuar brecando os elétrons, quanto mais negativo o potencial, mais ele passa a brecar, cada vez mais os elétrons. Faz de conta, vamos supor que eu estou aqui, nesta parede e tenho energia para sair desta parede, aqui e chegar até lá, vamos supor que, se eu tenho o vento a favor, vou correr até aquela parede e o vento vai me ajudar. Agora, vamos supor que a direção do vento mudou, que o vento tá vindo de lá pra cá. Eu tenho uma certa energia que é fixa, eu vou tentar correr e chegar lá, se você colocar um vento que não é muito forte eu vou conseguir chegar lá, tá? Mas, de repente, vai chegar um valor de vento que vou fazer força, força, ...força e não vou conseguir chegar lá, porque o vento vai me empurrar de volta. Então, quando você chega num ponto que você tá quase chegando lá, mas o vento não te deixa tocar na outra parede, este é o 'vento de corte', digamos, o 'vento de corte' " (risos).

unesp

(Os alunos começam a pensar, utilizando-se desta analogia apresentada pelo professor para poder compreender o fenômeno).

F: "O que confundi foi este lance, do negativo."

Ag: "O valor do potencial de corte, por exemplo, vamos supor, menos três, alguma coisa não seria o valor que seja, suficientemente forte, deste vento para não deixar você sair da parede." (aponta a origem da partida).

Fr: "Não, é o que eu tinha falado antes."

Prof: "Não, você pode quase chegar lá (aponta a parede oposta a origem) tocando e voltar"

Ag: "Mas se o campo elétrico for muito forte, ele não sai,..."

R: "Saí, mas já volta."

Ag: "Ele não chega a percorrer o caminho, ele desgruda e fica ali, ele não faz esse caminho."

Fr: "Tem hora que ele saí (elétron), mas tem hora que ele não sai..."

(Os alunos utilizam associação agora, com o comportamento do fenômeno apresentado na simulação).

R: "Não, mas quando ele (elétron) não sai, coloca: 'não ocorreu o Efeito Fotoelétrico', aparece na tela."

Fr: "Não! É 'não há emissão'. Aí chega naquele problema que eu estava falando, que dizer que só na emissão do Efeito Fotoelétrico é que eu vejo o elétron chegar no cátodo..."

(Ocorre uma discussão entre eles, em volta deste tema. O professor utiliza novamente a analogia do vento com o potencial para explicar o fenômeno).

Prof: "Digamos, rigorosamente, que há o Efeito Fotoelétrico quando a partícula, no experimento, quando o negócio marca no amperímetro, aí você não tem, mas a

Fr: "Não sei onde você quer chegar?!"

(Todos concordam).

Fr: "Deixa eu te dar um exemplo, vai ver eu estou com uma lanterna em cima do meu metal, este feixe de luz tem 100 fótons, com emissão de 100 elétrons, imagine que eu dou uma variada na corrente da lanterna e ela passa a ter 200 fótons, 200 elétrons."

R: "não é isso que estou falando! mantenha a emissão de fótons constante, que emite 100 elétrons, e varia o potencial. O que vai acontecer? Os 100 elétrons que antes estava chegando mais rápidos, depois você coloca um potencial maior, chega mais devagar."

Prof: "Aí tem que ver o sinal, tem que falar."

R: "Claro. No caso do programa, que é ao contrário, veja a figura (o gráfico VxI desenhado na lousa), você emitindo, você tem um potencial à favor do movimento, você vai emitir o elétron e ele vai produzir uma corrente, se você diminuir este potencial, se ele for negativo, a corrente que vai chegar no amperímetro vai ser menor, não vai ser menor? A corrente, vai ser menor! Mas é o mesmo número de elétrons que foi emitido, mas é o mesmo número de elétrons que vai chegar do outro lado!"

Prof: "Vai?"

R: "Vai chegar, não é o de corte ainda, não é o potencial de corte ainda, por que a corrente varia com o mesmo número de elétrons?"

Prof: "Na verdade é o seguinte: aí que vem a pergunta, onde eu acho que vocês estão num impasse, ainda. Tudo bem. Vamos supor que você jogue 100 fótons e libera 100 elétrons. A primeira pergunta, se esses elétrons vem todos da superfície do metal, com mesma energia cinética."

unesp

R e Fr: "Não!"

Prof: "Então, significa que você coloca um certo potencial negativo, não significa que existem elétrons que vai chegar do outro lado, mas, você poderia brecar aqueles que têm menor energia. É por isso que acontece aquela curva e não um degrau."

R: "E no caso de um elétron?"

Prof: "Aí, o que acontece?"

R: "Aí ia chegar, ia chegar..."

Prof: "Aí passa de um certo valor, é zero, não tem jeito... Aí você vai ter aquele negócio ali, vai ser integral de um."

Fr: "Agora, entendi o porquê daquela curva ali."

Pesq: "O pessoal não fez intervalo, sugiro que continuem na aula que vem, pois já foi a metade embora, ou poderíamos continuar discutindo.!?"

Prof: "Não só este assunto, mas, outros também, para ir entendendo cada vez melhor."

(Inicia-se uma discussão sobre a ajuda ou não que poderia estar oferecendo, trabalhar com a simulação computacional para este fenômeno e a metodologia utilizada com o debate no final).

Fr: "No final das contas, dá para entender melhor? Dá! mas, o tempo que demorou para fazer isso!. O tempo que a gente gasta! É um saco." (abana negativamente a cabeça, sugerindo que não vale a pena tanta demora).

Prof: "Não, não vamos entrar em discussão, o que é interessante saber é a parte da simulação por si só. Você acha que muda?"

F: "Não concordo com o Fr." (concordando que com o trabalho com simulação muda alguma coisa).



(Os outros alunos presentes concordam com F).

Prof: "E a discussão?"

(Todos concordam que com a discussão muda. Discutir após o trabalho com simulação, melhora a compreensão; em seguida, explicam o porquê).

F: "Quando a gente lê o livro, não dá para saber"

Fr: "Aquele capítulo do Eisberg, lá, (Efeito Fotoelétrico), fiquei duas vezes para tentar entender o decaimento. Agora, eu entendi o porquê a curva decai, assim (curva) e não reto."

Ag: "Quero dar uma sugestão, aí, não sei qual é a intenção do experimento..."

R: "Se a gente fosse discutir teoricamente este capítulo do livro, ficaríamos horas e horas e não íamos entender..."

Ad: "É muito abstrato."

Ag: "...eu me senti um pouco perdido, aí, e demorou um pouco para cair a ficha, para entender o que significava aquele símbolo, aqueles símbolos, aqueles 'negocinhos' ali. Talvez, eu acho que a discussão, vamos dizer assim, não neste momento que já fizemos o experimento, mas uma discussão enquanto estamos fazendo o trabalho aí. Acho que aí faria mais sentido."

(O professor pergunta sobre a metodologia utilizada, se poderia ser melhor de outra maneira; e os alunos expressam sua opinião).

Prof: "Vocês acham que fazer perguntas concretas, tipo: 'descubra tal coisa', talvez induziria mais, aos pontos que interessa?"

Ag: "É, mas na hora que está fazendo, por exemplo, dez minutos depois que nós estamos fazendo, ali, meio perdido; já começar fazer perguntas, aí evita esta necessidade, de a gente voltar novamente a aula que vem, fazer o mesmo experimento. Se as mesmas perguntas tivessem sido feitas, por exemplo, à quinze

minutos ou vinte minutos, após ter começado a aula, a gente teria tido uma orientação melhor para chegar onde chegamos."

Prof: "Você acha que teria sido melhor, induzido?"

Ag: "Sim."

F: "Posso dar minha opinião? Acho que não! Primeiro a gente faz, tenta, tenta... discute, para a gente mesmo concluir, o que a gente tinha que concluir; volta e faz de novo."

Pesq: "Aí você já faz com outro fechamento. Vocês estão preocupados com o tempo? Vocês estão achando que é muito tempo para fazer isso?"

Ag: " É. Por exemplo, eu fiquei meia hora sem saber o que fazia lá; fiquei perdido, até que eu me achei, a aula já tinha passado. Na verdade, eu fiquei enjoado de ficar lá sentado, sem saber o que fazer."

Pesq: "Mesmo com o roteiro na mão?"

(*Ag* demonstrou que não leu o roteiro).

Ag: "Mesmo com o roteiro, eu olhava isto aí, não sabia direito o que era, quer dizer, estava confuso, não sabia o que queria. Só via aquele 'raiozinho' indo para lá e para cá, mas estava sem saber o que era na verdade aquilo. Demorou muito para cair a ficha."

(F concorda com o trabalho e acha positivo a "experimentação" , ou seja, a tentativa e observação do que está acontecendo).

F: "Não, acho que no máximo falar assim: 'estamos trabalhando com duas placas', mas assim longo."

Ag: "Sim, mas eu acho que demorou muito."

F: "Mas a gente experimenta, experimenta...vai quebrando o potencial até encontrar."

unesp

Ag: "Eu cheguei no cálculo, eu cheguei no *h*, mas na hora de explicar... Você também não explicou o que, que era!? Isto quer dizer, isto demorou muito para chegar no que realmente,... lá!"

F: "O pessoal concluiu!"

R: "Mas, isto que demora é bom, bom para fixar na mente. Quando você vai esquecer isto ai?! Se der pronto para você é muito fácil!"

(Para saber como o trabalho com a simulação computacional influenciou ou não na aprendizagem ou esclarecimento de dúvidas sobre este tópico, perguntei...).

Pesq: "Gostaria de abrir um parênteses. Esta matéria, como havia falado antes, até lá, na hora que a gente fez o pré-teste, vocês já estudaram. Já viram esta matéria, o que é o Efeito Fotoelétrico, dentro do livro. Vocês já tiveram este tempo do Efeito Fotoelétrico."

R: "Então, já deveria saber!"

Pesq: "Então, nós viemos no laboratório, entre aspas, deduzo eu, que vocês já sabiam a matéria, já tinham visto a matéria. Então, eu acredito que estas dificuldades que vocês encontraram, parece-me, estão surgindo do fato de que esta aprendizagem, que vocês tiveram do livro, através do livro, das aulas expositivas; ela talvez não esclareceu..."

F: "...a prática.."

(Gostaria de observar se os alunos compreenderam o que é potencial de corte e pergunto sobre o cálculo de *h*. Ao calcularem a constante *h*, de Planck, sugiro o caminho interrogando se eles sabiam o porquê de alguns alunos conseguirem chegaram mais próximo ao valor aceito cientificamente e outros menos. Esta idéia deveria fazer-lhes observar que o valor de *h* que eles

encontraram se aproximaria mais do valor aceito cientificamente, para aqueles que utilizaram certos valores para o ddp e freqüência para os quais o elétron se aproximasse o máximo da placa oposta, mas sem encostar nela, não permitindo a passagem da corrente. Com os pares de valores para a diferença de potencial e de comprimento de onda, a reta encontrada na segunda tela do experimento teria um valor para o coeficiente angular que melhor se aproximaria para o cálculo de *h*. E exatamente isto ocorreria, quanto mais se aproximasse da placa oposta, sem encostá-la).

Pesq: "...de maneira que se dá esta visualização, e no computador é como se fosse uma visualização, uma tentativa. Eu acredito. É professor? Como ele (professor) mesmo explicou, aqui, antes de fazer as perguntas, é uma tentativa de explicação do modelo quântico, se posso dizer assim, com coisas da Física. Porque você olha lá, que nem ele falou, a bolinha, mas é um elétron, ele fez a associação daquilo com um elétron, o elétron, uma bolinha indo, batendo, voltando. Não é? então, talvez pode ser uma falha do programa, isto é, uma dificuldade – como representar isso? Eu acredito mesmo que talvez isto é uma dificuldade, mas de uma maneira geral, isto, de acordo com o que ele foi colocando, vocês foram tentando variáveis, eu percebi a dificuldade de não se encontrar o gráfico, mas o que está acontecendo, vai, vem, muda os valores, mas parece-me, é que na hora de colocar o gráfico lá, havia uma dificuldade, mas eu comecei a perceber como *F* disse - 'agora matei, consegui a minha constante de Planck'. O que você percebeu? Como você, o que você captou quando conseguiu a constante de Planck?... depois eu falo o que percebi."

F: "A gente aprende a quebrar, fica um pouco mais prático, depois que você descobre como que funciona o negócio, fica mais prático!"

Pesq: "Mas, o que é o que funciona? Eu percebi que você acertou em cheio quase todas as constantes de Planck, os teus valores davam tão próximos do valor da constante de Planck?"

F: "Porque eu procurei usar duas casas decimais e aumentando e diminuindo até achar o exato na segunda casa decimal."

Pesq: "Duas casas decimais, onde?"

F: "No potencial."

Pesq: "No potencial, só? O que você variou, o potencial, só?

F: "Eu fiz para vários valores de comprimento de onda e fui quebrando o potencial, até encontrar!"

Pesq: "Então, o que ela fez? Não sei se vocês perceberam, mas eu percebi que foi se chegando até um determinado ponto, que nem a *F* descreveu. Ela foi vendo a precisão e ela foi trabalhando com esse fator, a precisão. Então ela foi observando que quanto mais ela conseguia ver que o elétron, aquela bolinha que se deslocava, batia lá na placa, aí deslocava o elétron, ela chegava ali próximo à placa B e voltava. Então quanto mais próximo, é isso? Ele chegava o valor era mais ideal!? É isso?"

F: "Eu fiz isso como zero de função. Peguei dois extremos e fui apertando até chegar no valor."

Pesq: "Até chegar num valor próximo ali, que ele não ultrapassava, quando você colocava o próximo valor ele já iria ultrapassar. Eu percebi que a maioria do pessoal fez isso. E o que é isso? (ninguém fala)...O que você conseguiu...uma constante de Planck mais próxima da real! Vocês perceberam isso?"

Ag: "Eu posso dizer uma coisa? ...O que eu acho, na verdade, que quando nós conseguimos fazer isso, na hora de aprimorar este valor da constante de Planck,

foi que tecnicamente nós conseguimos manusear o programa, mas isto não quer dizer que a gente estava entendendo o programa, é bem diferente. Uma coisa é você saber manusear, fazer o cálculo com duas ou três casas decimais e entender a bolinha bater lá, ou a bolinha chegar próximo, ou não sair da placa..."

F: "Não!"

Ag: "... Aí, esta explicação foi, esta agora, do final e você viu que ninguém respondeu, entendeu?"

F: "Não! Mas agora é que a gente conseguiu concluir o que acontece fisicamente, agora é o momento da gente voltar e fazer de novo, ou pelo menos dar uma olhada de novo."

Ag: "É a questão de tempo aí, encurtar, não sei se poderia. Como pode ser agilizado...como diria, eu senti dificuldade....eu tenho algumas dúvidas, eu precisava ler novamente o capítulo pra entender algumas coisas que ainda tenho dúvida."

Pesq: "Então, o fato de trabalhar aqui te trouxe dúvida?"

Ag: "Sim. Talvez a matéria não estivesse totalmente clara na minha cabeça, ainda tinha bastante dúvida. Agora, ter vindo aqui ficou claro que eu não sei a matéria, que eu tenho que ler novamente. Foi esta conclusão que eu cheguei."

R: "Para mim ajudou, para caramba!"

F: "Para mim ajudou também!"

Prof: "Pelo menos se já gerou dúvidas, mostrou que você tinha uma idéia, você percebeu que não era esta idéia..."

Ag: ".. que não era esta idéia que eu tinha (a que estava certa), ... e eu vou ter que voltar e ler o livro, novamente."

(*Ag* deixa claro que é através da leitura do livro do Eisberg, que ele

poderá esclarecer todas as dúvidas sobre o experimento).

F: "Mas agora, a hora que você ler o livro vai ler diferente."

Ag: "Porque cada vez que você lê, você vai..."

F: "Agora você vai ler com aquela imagem do 'bagulinho' (bolinha) indo e vindo!"

De todos os alunos que participaram da simulação, observamos que apenas quatro alunos (Fr, F, R, Ag) participaram durante a maior parte das discussões; os outros falaram muito pouco, demonstrando não estar dispostos a se envolver no debate. Alguns saíram da aula antes do término. É difícil saber o motivo pelo qual estes alunos não se aprofundaram no debate. Apenas podemos fazer algumas suposições sobre os possíveis motivos. Como primeira hipótese, pensamos que estes alunos já teriam compreendido tudo e não havia motivos para se envolver em discussões. Outra, talvez estes alunos não compreenderam nada, e por isto não saberiam nem por onde começar perguntando. Talvez, um outro motivo seja a falta de interesse em debater sobre este assunto ou sobre o método de trabalho. Ou talvez, o fato de estarem sendo filmados, pudesse tê-los inibido, ou mesmo, fosse a introversão uma característica para tais alunos.

Seja qual for o motivo pelo qual alguns alunos não se envolveram no debate, conseguimos observar, através da fala dos mais "interessados", algumas dificuldades de compreensão, ou seja, dúvidas que este ambiente proporcionou.

Observamos que os alunos durante o trabalho não prestaram muita atenção às instruções apresentadas pelo roteiro que lhes foi entregue no início da aula.

unesp

Os alunos deram sugestões quanto à metodologia utilizada nesta a aula. Uns concordaram com os acontecimentos, outros não. *Ag* achou que foi muito tempo sem orientação, chegou até mesmo a sugerir que o tempo foi perdido, porém destacou que este trabalho lhe trouxe dúvidas, chegando até mesmo a afirmar que descobriu não ter aprendido nada. Porém, em sua opinião, para aprender seria necessário voltar e ler mais o livro-texto.

A maioria dos alunos afirmou que o trabalho com a simulação ajudou na visualização do fenômeno; e que isto contribuiu para que eles pudessem compreender a interpretação quântica. Para poder observar melhor o que os alunos conseguiram compreender sobre este fenômeno, pedimos ao professor para que pudéssemos aplicar um questionário aberto aos alunos, para que pudessem fazer suas explicações.

6.1.2.3.1 Observação da pesquisadora

O professor demonstra, através da primeira fala quando inicia as discussões, seu interesse em observar o que os alunos iriam dizer sobre o trabalho desenvolvido. Percebi neste momento, que o interesse do professor estava em verificar como poderia estar contribuindo o trabalho com a simulação para a aprendizagem pelos alunos. Quais seriam as respostas dos alunos sobre a compreensão do fenômeno estudado e se haviam compreendido o que era potencial de corte.

O primeiro aluno, *O*, inicia a resposta sugerindo a idéia da importância da visualização e destaca os fótons e elétrons como algo difícil de ser imaginado. Em seguida, outro aluno, *R*, ressalta a importância do não esquecimento para a aprendizagem; em sua opinião o trabalho com o computador (simulação) ajuda a "fixar mais" o objeto aprendido. Para este aluno, existe uma importância em fixar aquilo que se aprende e que isso está relacionado ao fato de não se esquecer, ou relacionado à memória.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

Estes dois pareceres iniciais apresentaram uma resposta, em que destacou as possíveis facilidades trazidas pela visualização proporcionada pela simulação. Primeiro, sobre a importância da visualização das imagens e segundo, sobre o possível auxílio à memorização do fenômeno.

Na outra pergunta, o professor foi direto à sua dúvida, de saber se os alunos haviam conseguido entender o que é potencial de corte. Conforme expressou o professor, em conversa que tivemos antes do trabalho de simulação, a possibilidade de facilitar a compreensão pelos alunos sobre o potencial de corte, era muito importante, pois os alunos de turmas anteriores tinham tido muita dificuldade em compreender este ponto, que era fundamental para a compreensão da interpretação quântica do Efeito Fotoelétrico. Portanto, em sua opinião, saber se o trabalho com a simulação possibilitou aos alunos compreenderem o que é potencial de corte, era um ponto positivo.

A partir desta pergunta, começaram as explicações dos alunos sobre o que é potencial de corte. O professor, por sua vez, foi corrigindo as explicações dos alunos. Percebeu-se através das falas, que este ponto estava um pouco confuso para a maioria dos alunos. Apenas R e Fr tentaram explicá-lo. R foi até a lousa para desenhar e mostrar a todos.

O professor estava insatisfeito com o rendimento da turma, em relação às explicações dadas para a definição de potencial de corte e sugeriu aos alunos que voltassem e fizessem novamente o experimento, para que pudessem verificá-lo. Mas todos os alunos discordaram em fazer novamente a simulação e, apesar da insistência do professor, eles não a realizaram novamente. Então, nesse momento, interferi, (Pesq) sugerindo para que os alunos utilizassem suas anotações, realizadas durante o experimento, para poderem explicar, talvez melhor, o que é potencial de corte. Imediatamente os alunos concordaram e tomaram suas anotações à mão para tentar explicar mais alguma coisa, de acordo com o experimento que

realizaram. Mas isto não adiantou muito. Então, o professor começou a discursar sobre o que é potencial de corte e fez uma analogia com a Física Clássica.

Numa determinada altura da conversa, apareceram, na discussão, contrapontos sobre a apresentação feita pelo *software* na representação do modelo científico do experimento. O questionamento da aparência apresentada pelo *software* foi destacado pelos alunos, após o professor ter tido feito a analogia para explicar o que era potencial de corte. Percebemos que ao fazer tal analogia, do freamento da corrente fotoelétrica pelo ddp, com um vento contrário às pessoas, os alunos usaram a imaginação para compreender a explicação do professor e fizeram algumas análises das figuras utilizadas para representar os fótons, utilizados pelo *software*. Os alunos destacaram, por exemplo, que a representação dada pelo *software* também é uma representação clássica de algo que é quântico, ou seja, constataram que a representação apresentada pelo *software* pode levar o aluno a uma interpretação clássica de algo que é quântico e que, portanto, este modelo poderia levar o aluno a formar uma imagem errada sobre fótons e elétrons.

Esta dificuldade de representação do mundo quântico, apresentada pelo *software*, também originou uma discussão. Quando o professor interrogou os alunos sobre o papel da simulação, se ela havia mudado alguma coisa para eles, se, havia facilitado a compreensão do Efeito Fotoelétrico, a partir deste ponto, os alunos expressaram suas dificuldades em aprender quando dispõem somente do livro (449, 453-456). *Fr*, apesar de inicialmente (438-439) ter dito que achava que a simulação não compensava pelo tempo gasto, demonstrou, em seguida (450-452) que entendeu sobre o decaimento, após ter feito a simulação. Alguns alunos se referiram ao fato de o assunto ser muito abstrato e daí a dificuldade em compreendê-lo apenas com a leitura do livro. Em (438-439) *Fr* reclamou do tempo gasto com o trabalho; mais adiante, em (457-461) *Ag* ressalta que teve dificuldades em fazer a simulação, pois não sabia bem o que era para fazer. Esta afirmação fez com que se iniciasse uma discussão sobre a

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

metodologia utilizada, e, em (479-481) *Ag* afirma ter tido muito tempo sem saber o que fazer e que talvez seria interessante fazer uma discussão antes do experimento.

Estas dúvidas foram vistas pelo professor que questionou sobre a possível necessidade de se colocar perguntas mais "concretas", com a finalidade de induzir os alunos aos pontos principais. Os alunos se dividiram, alguns acharam que sim, como *Ag*, em (466-471), que poderia induzir a compreensão dos pontos principais; outros disseram que não, como *F*, em (474-476), valorizando a prática.

A esta altura, destacamos o fato de que alguns alunos não leram a apostila ou se leram, não prestaram muita atenção ou não a compreenderam. Enfim, percebemos que a apostila não ajudou substancialmente alguns alunos, como por exemplo *Ag*, na orientação dos passos a serem seguidos durante o trabalho com a simulação. Percebemos ainda, que a maioria dos alunos se mantiveram numa postura passiva, esperando as coordenadas do professor para poderem saber o que fazer.

O trabalho foi inédito para estes alunos que demonstraram interesse em discutir sobre o papel do uso da simulação, para a aprendizagem destes fenômenos de Física Quântica. Mesmo não demonstrando um conhecimento profundo sobre o tema, os alunos procuraram explicar, cada um à sua maneira, a contribuição deste trabalho e o que poderia mudar.

F ao dizer que os alunos deveriam "tentar, tentar até conseguir", por um lado, deu-nos a impressão que F poderia estar relacionando esta ferramenta com uma técnica mecânica, onde a tentativa vai trazer a compreensão; por outro lado, destacou a importância da experimentação para a construção conceitual do aluno sobre os fenômenos. Dentre outros, como Ag, ao dizer que os alunos deveriam ter as coordenadas dadas por perguntas prontas, que direcionassem o que deveriam fazer, apresentou uma sugestão que talvez estivesse de acordo com uma proposta de afunilamento da compreensão dos alunos, algo que poderia trazer o estreitamento das possibilidades para uma análise reflexiva, contribuindo para uma

unesp

compreensão fragmentada do contexto. Porém, *Ag* talvez tenha sugerido tal coisa, com vistas à sua própria dificuldade, que o trabalho pudesse ser orientado para facilitar e direcionar qual o conceito principal a ser aprendido, demonstrando ser esta concepção racionalista sobre a ensino e aprendizagem, sua própria intuição como aluno.

De acordo com a aprendizagem significativa, esta ocorre quando o objeto em questão consegue se relacionar com a estrutura cognitiva do indivíduo, ou seja, o indivíduo compreende o objeto que faz sentido para seu mundo conceitual e este, por sua vez, é alterado ao incorporar este novo conhecimento. Porém, para que haja a aprendizagem significativa dos conceitos, os alunos devem estar dispostos a aprender e sua estrutura cognitiva deve estar "preparada" para receber as novas informações, ou seja, o aluno deve construir um contexto conceitual cientificamente apropriado.

6.1.2.4 Questionário aberto sobre a compreensão do Efeito Fotoelétrico

O questionário aberto foi entregue aos alunos na aula seguinte do trabalho, com simulação computacional. O professor cedeu a primeira aula do dia 01 de outubro de 2002, para que os alunos pudessem responder ao questionário aberto, sobre a compreensão do Efeito Fotoelétrico. O questionário respondido está no anexo IV.

Com a finalidade de facilitar a visualização da compreensão dos alunos sobre o desenho que eles utilizaram para a explicação deste fenômeno, após o trabalho com a da simulação computacional, elaboramos um gráfico (gráfico I) com esta análise. Para esta construção foi pedido aos alunos para não utilizarem nenhum material didático de pesquisa ao responder o questionário.

O gráfico 1 representa o resultado da análise do questionário aberto sobre o Efeito Fotoelétrico feito por onze alunos *(Ag, O, F, Fr, K, Rt, A, E, Gl, Ad, M)* que participaram da

pesquisa[5]. Abaixo estão explicados detalhadamente a legenda do gráfico sobre as categorias e os níveis de acerção

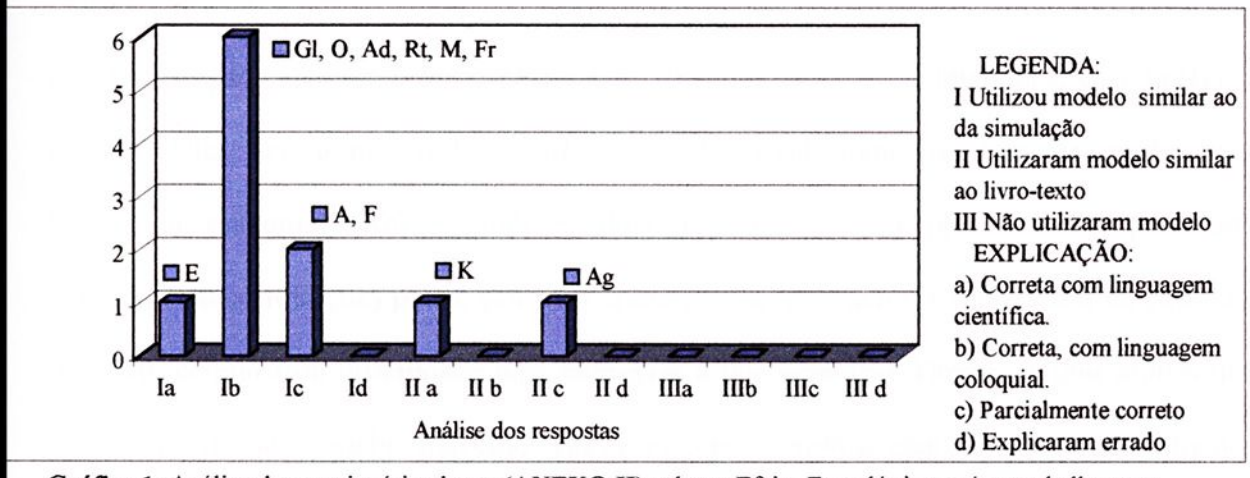


Gráfico 1: Análise de questionário aberto **(ANEXO II)** sobre o Efeito Fotoelétrico após o trabalho com simulação

Descrição das categorias (desenho):

I Utilizaram um modelo (desenho) similar àquele apresentado pelo programa computacional "Física con Ordenador" (GARCIA, 1998) para o experimento do Efeito Fotoelétrico.

II Utilizaram o modelo (desenho) similar ao apresentado pelo livro-texto (EISBERG e RESNICK, 1986, p.51-59) para o experimento do Efeito Fotoelétrico.

III Não utilizaram modelo (desenho) com nenhum dos anteriores para explicar o fenômeno.

Descrição dos níveis de acerção (explicação):

a) Explicaram corretamente todo o experimento, com linguagem científica.

b) Explicaram corretamente parte do experimento, com linguagem coloquial.

c) Explicaram o experimento parcialmente correto.

d) Explicaram errado.

[5]O aluno *R* não respondeu este questionário por motivo de ausência

Com base no gráfico 1, observamos que nove alunos, ao responderem o questionário aberto sobre o Efeito Fotoelétrico, utilizaram como parte principal do esquema explicativo, um desenho "parecido" com a figura apresentada neste experimento do programa "Física con Ordenador" para explicar este fenômeno. Dentre estes oitos alunos que utilizaram um modelo parecido com o FcO, apenas um *(E)* respondeu o texto totalmente correto (Ia); a maioria deles, seis alunos (*Gl, O, Ad, Rt, M, Fr*) explicaram corretamente, porém com linguagem coloquial (IIb) e somente dois alunos (*F, A)* explicaram o experimento parcialmente correto (IIc) pois o primeiro confundiu-se ao descrever o potencial de corte e o segundo, demonstrou dificuldade para expressar o que entendeu. Dentre os dois alunos que não utilizaram um modelo "parecido" com o FcO para explicar este fenômeno, encontramos *(K)* que explicou corretamente o fenômeno do Efeito Fotoelétrico, sem "desenhar" um esquema parecido com o utilizado pela simulação, porém o outro aluno *(Ag)* apresentou uma explicação que inicialmente pareceu-nos ter sido, em parte, copiada do livro-texto, pelo fato de ele ter apresentado um texto com "todas" as informações contidas no livro, mas inseridas de maneira "forçada", o que causou falta de coerência entre os parágrafos e erro ao enfatizar que este experimento prova o efeito corpuscular da luz, pela linguagem confusa foi classificado em (Ic). Cabe ressaltar que os questionários foram individuais e os alunos não estavam no laboratório de informática e foi pedido para que não consultassem o livro-texto sobre o assunto, no momento da resposta do questionário.

Em comparação com um teste (Anexo III) feito com os alunos antes do trabalho no laboratório de informática, observamos que todos os alunos apresentaram falhas na representação esquemática deste fenômeno, significando a existência de concepções alternativas. Após o contato com o esquema dos fenômenos trabalhados através da simulação computacional, observamos com base nas respostas, que a maioria dos alunos (*E, Gl, O, Ad, Rt, M, Fr, F, A*) se apropriou do modelo explicativo para o fenômeno do Efeito



Fotoelétrico, utilizado na simulação computacional. Neste momento, tivemos a impressão de que o modelo apresentado pela simulação computacional passou a fazer parte do esquema conceitual da estrutura cognitiva da maioria dos alunos que participaram da simulação.

6.2 Segunda Parte: o trabalho com mapas conceituais

Esta parte da pesquisa, caracterizada com a *segunda parte*, dá continuidade à pesquisa iniciada durante o segundo semestre de 2002, na Faculdade de Ciências de Bauru, com alunos do curso de licenciatura em Física, durante a disciplina Estrutura da Matéria I (ALMEIDA & SOUZA, 2003). Esta segunda parte aconteceu no dia 29 de maio de 2003 e contou com a construção de mapas conceituais sobre o experimento do Efeito Fotoelétrico

Estes mapas construídos constituíram o objeto avaliativo do desenvolvimento conceitual dos alunos sobre a aprendizagem da interpretação deste fenômeno. Por um lado, procuramos, através da pontuação atribuída aos mapas, verificar a pontuação mediana da turma e o nível de coerência entre suas respostas e nossa interpretação. Por outro lado, procuramos interpretar as relações significativas que os alunos expressaram por meio destes mapas e verificar a existência de regularidades ou falhas conceituais, ou seja, verificar qual o significado alcançado por estes alunos sobre o conceito que envolve o Efeito Fotoelétrico.

6.2.1 Publico-alvo avaliado

Participaram desta segunda parte da pesquisa, quatorze alunos que estavam cursando a disciplina Estrutura da Matéria II *(R, Ag, F, K, Rt, A, E, Ad, Cm, C, Az, D, Gt, Rd)*, que dá continuidade à disciplina Estrutura da Matéria I. Porém, nos restringiremos a

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

apresentar apenas os mapas dos dez alunos que pertenciam à turma do semestre anterior *(R, Ag, F, K, Rt, A, E, Ad, Cm, C)*.

Dentre estes alunos, oito *(R, Ag, F, K, Rt, A, E, Ad,)* participaram do trabalho com simulação computacional para o Efeito Fotoelétrico no semestre anterior. Os outros dois alunos (*Cm, C)* apesar de serem alunos daquela turma, faltaram no dia do trabalho com a simulação para o Efeito Fotoelétrico.

Refizemos a investigação do perfil dos alunos, porém esta não se mostrou muito diferente da participação da primeira parte. Dos dez alunos entrevistados, oito tinham idade média que variava de 20 a 23 anos, sendo (*C*) com 26 anos e um com 52 anos *(Ag)*, sendo que sete destes alunos trabalhavam durante o dia e apenas três alunos *(K, A, E)* não trabalhavam. Deles, apenas um *(K)* fazia iniciação científica. Todos os alunos afirmaram que utilizavam o computador, sendo que oito alunos utilizavam o computador diariamente e apenas dois a utilizavam esporadicamente *(A,Cm)*. Todos os alunos relataram utilizar o computador para acessar a *Internet* e como editor de texto, sendo que a metade dos alunos afirmou também utilizar o computador com programas utilitários. De todos eles, apenas um *(R)* afirmou utilizar o computador para programas de simulação computacional.

Na pergunta que se referia ao uso do computador, em sala de aula, todos os alunos confirmaram já o terem utilizado para esta finalidade, dos quais seis alunos *(E, C, K, F, Cm, R)* citaram a experiência que haviam tido com o FcO e os outros oito alunos somente citaram o uso na aula de laboratório com Física Computacional, com os programas "Fortran", "Winplot" e "Origin" que calculam e plotam gráficos de funções. Seis alunos *(R, Ag, F, K, Rt, C)* afirmaram ter acesso ao computador em casa, no trabalho e na faculdade, exceto um *(K)* que não tinha acesso no trabalho. Três alunos *(A, Cm, E)* disseram ter acesso ao computador somente na faculdade e um *(Ad)* confirmou ter acesso ao computador na faculdade e no trabalho.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

6.2.1.1 Descrição da aula

Iniciou-se a aula com a apresentação da teoria e fundamentação teórica dos Mapas Conceituais (Anexo V) na primeira parte da aula, (pela pesquisadora) com a finalidade de introduzir alguns conceitos sobre esta ferramenta que os alunos iriam utilizar. E em seguida, os alunos construíram, individualmente, um mapa conceitual para o experimento do Efeito Fotoelétrico. Eles receberam uma apostila (Anexo VI) com o resumo da apresentação e instruções para utilização do *software* "IHMC Cmap Tools" (KONRATH, 2003).

A disponibilidade oferecida pelo LDC/FC proporcionou a disposição de um aluno por micro. Isto nos forneceu condições para oferecer-lhes uma breve apresentação sobre a teoria dos mapas conceituas que elaboramos, sob o título "Mapas Conceituais: o que são e para que servem" (Anexo V) que foi exibida através do programa "Power Point". Os alunos assistiriam à apresentação, cada um de seu micro monitorado pelo programa "NetOpSchool" (2001) e em seguida passariam para a construção individual de seus mapas conceituais, através da utilização do *software* "IHMC Cmap Tools" (NOVAK, 2002). Cada aluno recebeu uma apostila que continha explicações sobre os mapas conceituais e como utilizar o *software* "Cmap Tools", que foi elaborada sob o título de "Construindo Mapas Conceituais" composto por duas partes: "Parte I - Noções Básicas sobre o CMap Tools" (KONRATH, 2003) e "Parte II - O que são Mapas Conceituais?" (Anexo VI).

6.2.2 Pontuação dos Mapas Conceituais

Esta primeira análise apresenta uma classificação dos mapas conceituais construídos pelos alunos sobre o Efeito Fotoelétrico.



Em nosso processo pela busca de uma avaliação propusemos, inicialmente, um modelo com base no método de pontuação sugerido por Novak (1999), levando em conta todos os critérios apresentados pela Tabela 1 (conceitos, ligações entre conceitos, níveis hierárquicos e ligações cruzadas) apresentados nos mapas conceituais dos alunos. Primeiramente, fizemos uma pontuação dos mapas onde levávamos em conta todos os conceitos, ligações, os níveis hierárquicos e as ligações cruzadas, sem nos preocuparmos em verificar a validade destas ligações. Num segundo momento, fizemos uma correção dos mesmos mapas, mas verificando a validade dos conceitos e suas ligações. A partir daí, os mapas que apresentaram algum critério errado, obtiveram uma nova pontuação, que foi menor do que a primeira. Porém, os critérios para a pontuação foram alterados ao término de nossas análises.

No processo de correção dos mapas conceituais, observamos que o item "níveis hierárquicos" não poderia ser levado em consideração na pontuação, visto que durante as construções pelos alunos e pelo próprio professor[6] apareceram várias formas de organização conceitual nos mapas que estavam corretas, não existindo portanto uma única e rigorosa de estrutura hierárquica dos conceitos[7].

A "tabela 3" apresenta a pontuação resumida de cada mapa conceitual, antes e depois da correção e o grau de coerência entre elas.

A primeira coluna descreve os alunos participantes da aula, num total de dez. A segunda coluna descreve o valor da pontuação obtida para os mapas conceituais "originais", desenhados pelos alunos, levando-se em conta o valor de cada critério classificatório, sem correção conceitual. A terceira coluna descreve o valor da pontuação final obtida pelos mapas conceituais, após correção da pesquisadora, ou seja, o valor obtido em cada mapa, levando-se

---

[6] Fato ocorrido com o professor da disciplina durante a construção do mapa padrão , ver item 6.2.6.

[7] A supressão deste item, para a pontuação dos mapas conceituais, também foi sugerida pelo prof. Dr. Marco Antonio Moreira durante a defesa desta dissertação.

unesp

em consideração os critérios classificatórios e a condição de validação para cada um, de acordo com a concepção científica para a interpretação do Efeito Fotoelétrico. Na quarta coluna, está descrita a porcentagem que relaciona a pontuação dos mapas antes e depois da correção. Consideramos que esta porcentagem está apresentando o grau de coerência entre a interpretação pessoal apresentada pelo aluno e a interpretação científica apresentada pelo livro- texto, após correção.

Tabela 3: Mediana da Pontuação obtida pela turma no mapa conceitual – Grau de coerência

Avaliação dos Mapas Conceituais			
Descrição dos Alunos	**Pontuação Construção**	**Pontuação Corrigida**	**Grau de Coerência – Correção/Construção**
A	9	4	44%
Ad	9	8	89%
Ag	8	4	50%
C	7	4	57%
Cm	11	7	64%
E	6	5	83%
F	7	8	114%
K	15	13	87%
R	2	1	50%
Rt	10	10	100%
Mediana da Pontuação Construção da Turma			**9**
Mediana da Pontuação Corrigida da Turma			**6**

A construção dos mapas conceituais, assim como a escolha dos conceitos e a maneira como foram arranjados, partiu da escolha própria de cada aluno, após terem tido contato com nossa apresentação da teoria dos mapas, sem interferência de materiais didáticos nem a participação do professor. A pontuação individual dos mapas conceituais são apresentadas no item 6.2.3, juntamente com os respectivos mapas conceituais, construídos pelos alunos. Antes porém (6.2.2.1), apresentamos um exemplo de como analisamos e classificamos os mapas conceituais dos alunos.



6.2.2.1 Um exemplo descritivo de nossa análise e classificação dos Mapas Conceituais

A "figura 8" apresenta o mapa conceitual original construído pelo aluno Ag para o Efeito Fotoelétrico; a análise deste mapa apresenta um exemplo de como utilizamos os critérios classificatórios para pontuar os mapas conceituais de caráter avaliativo.

Para facilitar a compreensão das características deste mapa conceitual fizemos sua remodelação, porém respeitando suas ligações originais. Através desta remodelação, figura 9, organizamos os conceitos de acordo com a distribuição original do aluno, porém seguindo a ordem de ligação representada por ele.

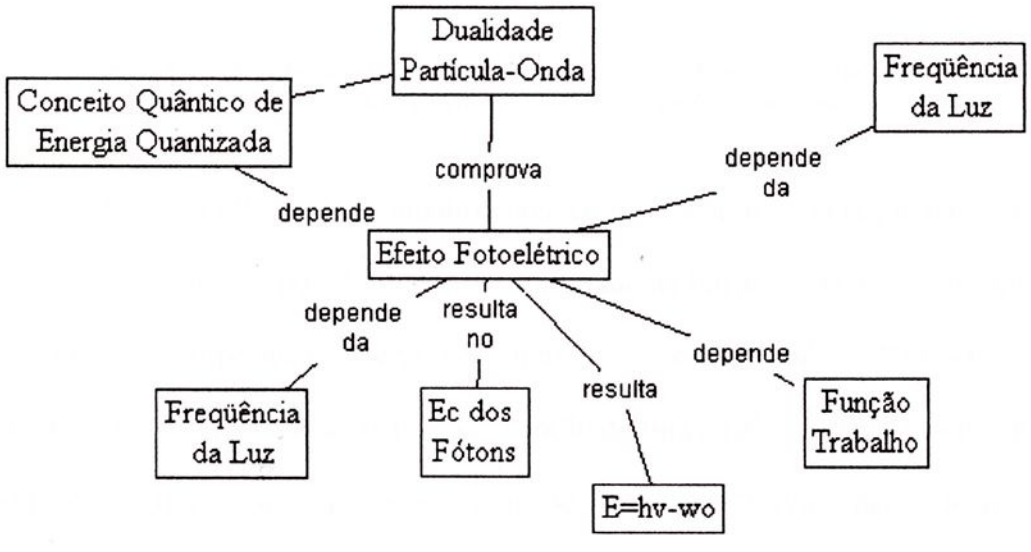


Figura 8: Mapa Conceitual original sobre o Efeito Fotoelétrico elaborado por *Ag*

Esta remodelação do mapa conceitual visou facilitar a sua interpretação, melhorando a visualização dos critérios: relações, hierarquia e ligações transversais. Os níveis hierárquicos seriam interpretados a partir do conceito central Efeito Fotoelétrico, como o primeiro nível e em seguida, os demais. Se fôssemos considerar para a pontuação os níveis hierárquicos, no modelo apresentado na "figura 8", num primeiro olhar, encontraríamos três níveis hierárquicos. Mas, a partir da "figura 9", observaríamos que existem apenas dois níveis

hierárquicos. Segundo os critérios apresentados na tabela 1, cada nível hierárquicos vale 5 pontos, então este mapa poderia ter neste critério 10 ou 15 pontos dependendo da interpretação feita ao mapa, fato que alteraria em muito a pontuação final. Isto também contribuiu para que não usássemos a pontuação dos níveis hierárquicos.

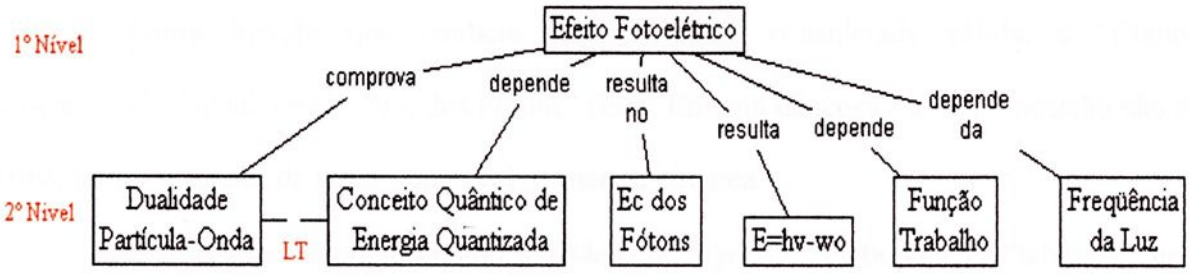


Figura 9: Remodelação do Mapa Conceitual sobre o Efeito Fotoelétrico elaborado por *Ag* . Legenda de Classificação: 1°. Nível, 2°. Nível – Níveis de Hierarquia. LT – Ligações Transversais.

A "figura 9" também auxiliou-nos, com clareza, na pontuação das ligações entre conceitos. Este item nos possibilitou encontrar algumas falhas conceituais dos alunos, como por exemplo, a proposição "Efeito Fotoelétrico" – "**comprova"** – "Dualidade Partícula-Onda". Esta proposição apresenta uma concepção de funcionalidade para o conceito principal "efeito fotoelétrico", ou seja, este fenômeno tem que "servir" para alguma coisa. A interpretação apresentada por *Ag* diverge da interpretação trabalhada em sala de aula, pois de acordo com o próprio livro-texto, foi apresentado que o experimento do Efeito Fotoelétrico é um fenômeno que é interpretado pela Teoria Corpuscular, ou seja, através destes fenômenos, a luz apresenta um comportamento corpuscular e não ondulatório nem dual. Portanto, a única interpretação coerente para este fenômeno está descrita pela teoria corpuscular da luz.

O termo *Dualidade-Onda-Partícula* é uma interpretação a partir da Teoria de DeBroglie. Pessoa Jr. (1997) que considera este termo como a essência da Física Quântica, a

descreve como uma teoria que "atribui para qualquer partícula individual, aspectos ondulatórios e para qualquer forma de radiação, aspectos corpusculares".

Portanto, não é correto afirmar que o fenômeno do Efeito Fotoelétrico confirma a Dualidade-Onde-Particula. Esta afirmação não é coerente com a interpretação científica, por isso a ligação não foi considerada válida.

Outra ligação que também não pode ser considerada válida, é "Efeito Fotoelétrico" – "resulta na" – "Ec dos Fótons" (Ec = Energia Cinética). Esta proposição não é válida, pois o conceito de fóton não envolve energia cinética.

Seguindo a remodelação apresentada pela "figura 9", elaboramos a "tabela 4" que sintetiza a pontuação atribuída para este mapa.

Observamos que o aluno representou seis ligações entre conceitos, entretanto após nossa análise, apenas quatro ligações eram corretas, ou seja, apenas quatro ligações eram válidas do ponto de vista de relação significativa entre conceitos, formando uma proposição. Em relação aos níveis hierárquicos, ele considerou somente dois níveis, o qual constatou-se validade. Este aluno representou uma ligação transversal, mas esta não é válida nem significativa, de acordo com este mapa conceitual. Por isso, não foi considerada. Não apresentou exemplos de aplicação do Efeito Fotoelétrico nem ligações transversais de cunho somente válido ou criativa/peculiar.

Tabela 4: Pontuação do primeiro mapa conceitual elaborado por *Ag*

Critérios Classificatórios	Construídos	Corrigidos	Pontuação Proporcional
Relações (válidas) C	6	4	67%
Hierarquia (válida) C x 5	-	-	-
Ligações transversais (válidas/significativas) Cx10	-	-	-
Exemplos (válidos) C	-	-	-
Ligações transversais (somente válidas) C x 2	1	-	-
Ligações transversais (Criativas/peculiares) C	-	-	-
Total	**8**	**4**	**50%**



Portanto, este aluno obteve um total de 4 pontos de um mapa que teria condições de obter 8 pontos, de acordo com a própria descrição deste aluno. Seu aproveitamento em relação aos conceitos apresentados em seu mapa, pode ser representado em 50%.

6.2.3 Mapas construídos pelos alunos

A seguir, apresentamos os mapas conceituais que os alunos elaboraram durante a pesquisa. Estes mapas foram por nós digitalizados, através do programa computacional "IHMC Cmap Tools" (NOVAK, 2002) com a finalidade de facilitar a leitura, respeitando sua forma original. Procuramos observar a ocorrência de concepções alternativas, em relação a existência de ligações que representam concepções alternativas.



Mapa conceitual construído por *A*

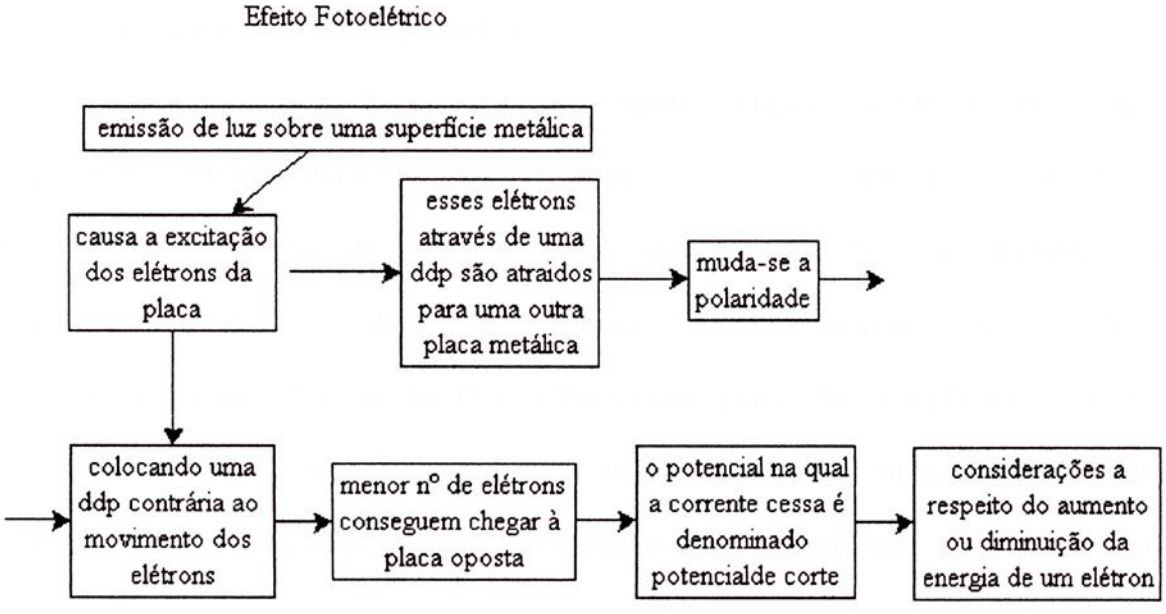


Figura 10 - Mapa conceitual elaborado por *A*

Tabela 5: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *A*

Critérios Classfificatórios	Pontuação Construção	Pontuação Correção	Pontuação Proporcional
Relações (válidas) C	7	4	57%
Hierarquia (válida) C x 5			
Ligações transversais (válidas e significativas) C x 10			
Exemplos (válidos) C			
Ligações transversais (somente válidas) C x 2	1		
Ligações transversais (Criativas ou peculiares) C			
Total	**9**	**4**	**44%**

O conceito "Efeito Fotoelétrico" apresenta-se no topo como um título. Sua explicação não apresenta falhas conceituais. Conforme a disposição dos conceitos neste mapa, observamos que *A* talvez não tenha conseguido compreender muito bem a estrutura dos mapas conceituais, pois este se parece mais com um organograma linear, não existindo diferenças entre conceitos e palavras de ligação. Sua explicação baseou-se na descrição do

experimento, sem citar palavras como fótons, quantização de energia; não se referiu à freqüência. Descreveu o potencial de corte.

Em nossa correção, caracterizamos alguns "conceitos" como palavras de ligação, o que alterou a quantidade de relações válidas e os níveis hierárquicos. Os conceitos principais passaram a ser, de cima para baixo, "efeito fotoelétrico" e os retângulos, com as palavras "luz", "elétrons", "ddp", "ddp contrária", "potencial de corte". Os retângulos com "muda-se a polaridade" e "menor nº de elétrons conseguem chegar à placa oposta", foram considerados como ligação. O retângulo com "considerações a respeito do aumento ou diminuição da energia de um elétron", não foi considerada um conceito. A ligação transversal entre "causa a excitação..." e "colocando uma..." não foi considerada significativa. O conceito Efeito Fotoelétrico não está ligado aos conceitos, por isso não foi contado como relação, porém entendemos que ele faz parte deste mapa conceitual e por isto foi caracterizado como um nível hierárquico.



Mapa conceitual construído por *Ad*

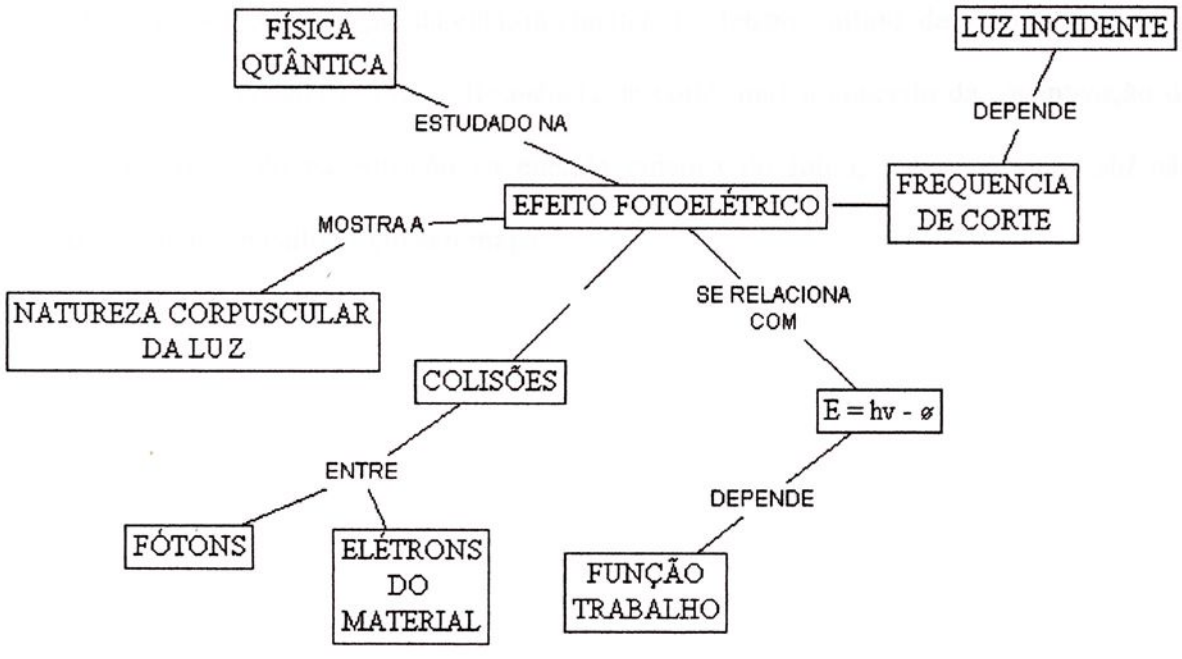


Figura 11 - Mapa conceitual elaborado por *Ad*

Tabela 06: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *Ad*

Critérios Classificatórios	Pontuação Construção	Pontuação Correção	Pontuação Proporcional
Relações (válidas) C	9	8	89%
Hierarquia (válida) C x 5			
Ligações transversais (válidas e significativas) C x 10			
Exemplos (válidos) C			
Ligações transversais (somente válidas) C x 2			
Ligações transversais (Criativas ou peculiares) C			
Total	**9**	**8**	**89%**

As palavras de ligação partem de "Efeito Fotoelétrico", sendo considerado como o conceito principal. O conceito "Freqüência de Corte" está apenas ligado ao conceito central, mas não está explicado claramente, porém disse que esta depende da luz incidente. Consideramos que a palavra "colisões" não é um conceito e sim, forma uma ligação com

"entre", resultando em "colisões entre", significa apenas uma única ligação que descreve o fenômeno. Apresentou a relação da energia cinética do elétron emitido, descrito pela equação "$E = hv - Ø$". Citou sobre fótons, freqüência de corte, mas o conceito de quantização de energia *(hv)* envolvido na equação da energia cinética do fóton, ficou subscrito. *Ad* não apresentou falhas conceituais em seu mapa.

Mapa conceitual construído por *Ag*

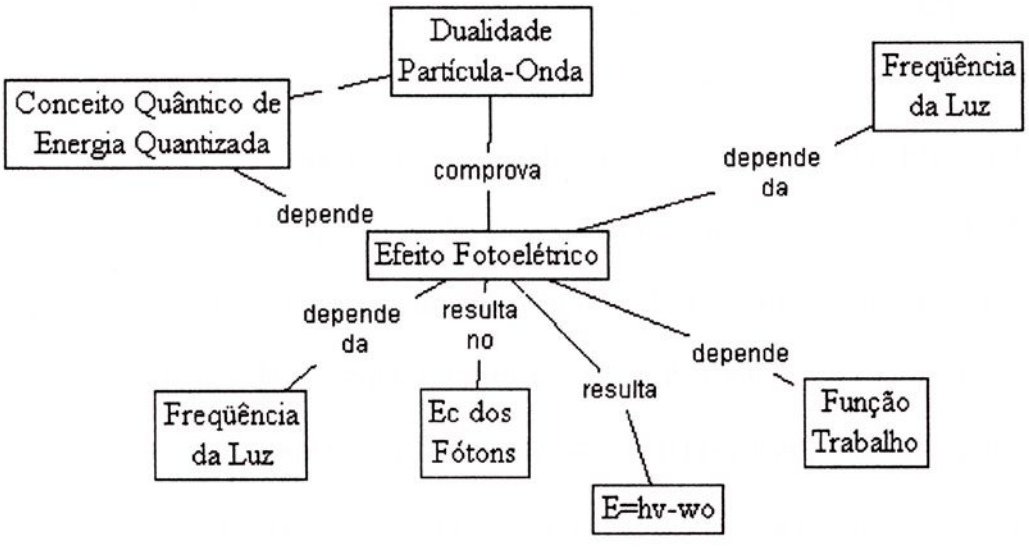


Figura 12 - Mapa conceitual elaborado por *Ag*

Tabela 07: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *Ag*

Critérios Classfificatórios	Pontuação Construção	Pontuação Correção	Pontuação Proporcional
Relações (válidas) C	6	4	67%
Hierarquia (válida) C x 5			
Ligações transversais (válidas e significativas) C x 10			
Exemplos (válidos) C			
Ligações transversais (somente válidas) C x 2	1		
Ligações transversais (Criativas ou peculiares) C			
Total	**8**	**4**	**50%**

O mapa conceitual de *Ag* apresenta uma possível falha conceitual, quando se refere ao "Efeito Fotoelétrico" - "comprova" - "Dualidade-Partícula-Onda" , pois, de acordo com o que ressaltamos anteriormente, este fenômeno é interpretado pela Teoria Corpuscular. A interpretação da dualidade partícula-onda é uma interpretação que utiliza este experimento, entre outros, para representar o comportamento corpuscular da luz; porém dentro de nossa

interpretação, verificamos que esta ligação não está bem clara e por isso foi considerada errada. Consideramos que esta explicação poderia não estar errada se estivesse mais clara, pois não se pode dizer simplesmente que este experimento comprova a dualidade-partícula-onda, porque esta depende de uma conceituação mais clara que a defina e enfim, sua hierarquia conceitual tem característica mais abrangente e o conceito do "Efeito fotoelétrico" deveria estar incluso nesta explicação, o que significa mais um indício de falta de clareza para esta explicação. Outra relação, que também não está clara, é "Efeito Fotoelétrico" – "resulta na" – "Ec dos fótons". Isto porque a energia cinética dos fótons não é resultado do Efeito Fotoelétrico; esta relação apresenta uma confusão de representação, sendo assim, ela não é verdadeira. De acordo com a interpretação corpuscular, os fótons transmitem energia aos elétrons livres da placa metálica, depois da incidência de luz nesta mesma placa. Esta definição é caracterizada pela Teoria Quântica, através da quantização de energia, que explica que a energia é transportada em pacotes, que são chamados de fótons. A representação matemática da equação "E=hv - wo", expressão matematica da energia cinética dos elétrons que se desprenderam da placa, está relacionando corretamente com a quantização de energia e a função trabalho. Por isso foi considerada como correta. E, finalmente, a ligação transversal entre os dois conceitos "Dualidade – Partícula-Onda" – "Conceito quântico Energia quantizada" não está explicada corretamente, por isso não foi atribuído significado a esta ligação transversal.



Mapa conceitual construído por *C*

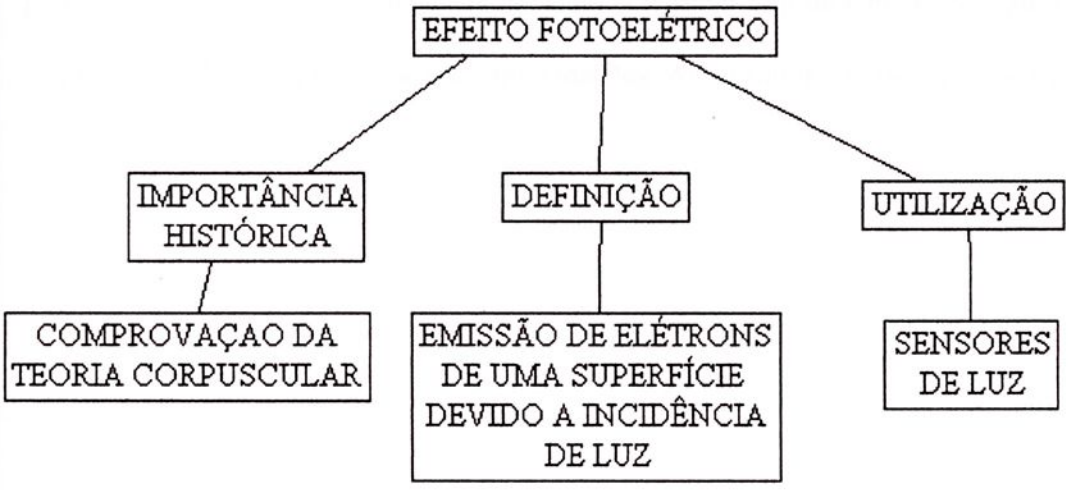


Figura 13 - Mapa conceitual elaborado por C

Tabela 08: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *C*

Critérios Classficatórios	Pontuação Construção	Pontuação Correção	Pontuação Proporcional
Relações (válidas) C	6	3	50%
Hierarquia (válida) C x 5			
Ligações transversais (válidas e significativas) C x 10			
Exemplos (válidos) C	1	1	100%
Ligações transversais (somente válidas) C x 2			
Ligações transversais (Criativas ou peculiares) C			
Total	**7**	**4**	**57%**

C apresentou a definição do Efeito Fotoelétrico à descrição fenômeno "emissão de elétrons de uma superficie, devido a incidência de luz". Não apresentou falhas conceituais neste mapa, porém, na apresentação física do mapa, as palavras de ligação "importância histórica", "definição" e "utilização" foram colocadas ambas dentro de retângulos, o que figurou diferente de nossa apresentação desta teoria, que considerava que os conceitos estavam colocados dentro de figuras geométricas que estavam ligadas por linhas, onde eram

escritas as palavras de ligação, formando uma proposição. Este fato fez com que sua pontuação diminuísse. Seu mapa ficou bem parecido com o de *Cm*. Observamos que durante a construção do mapa eles trocaram informações. Apresentou um exemplo "sensores de luz".

Mapa conceitual construído por *Cm*

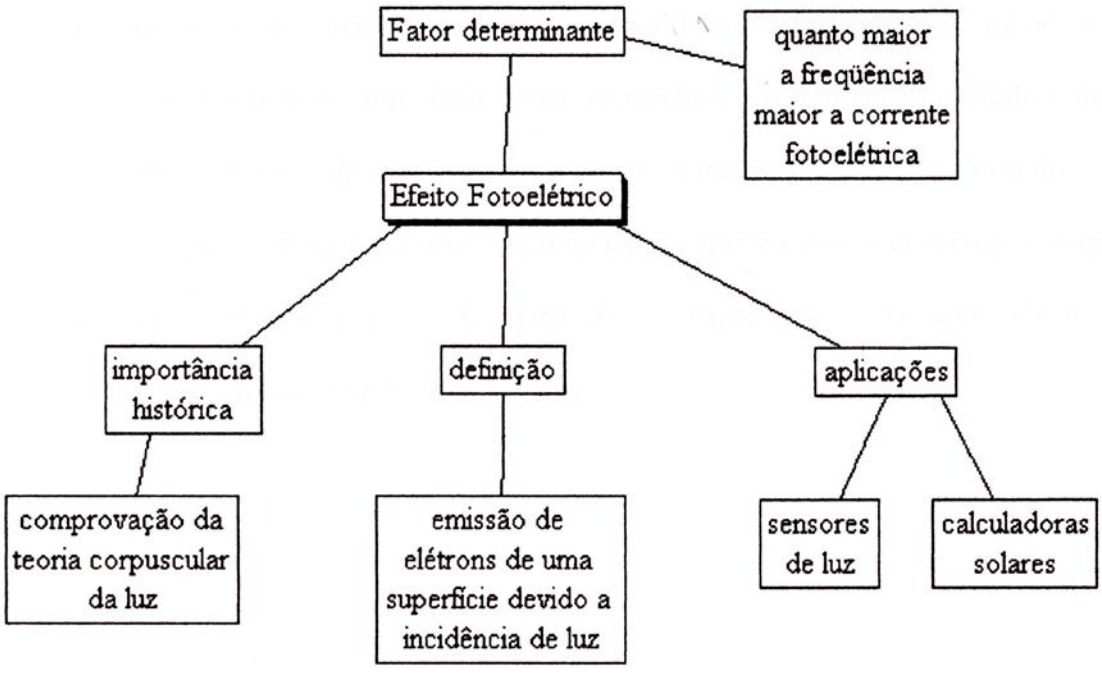


Figura 14 - Mapa conceitual elaborado por *Cm*

Tabela 09: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *Cm*

Critérios Classificatórios	Pontuação Construção	Pontuação Correção	Pontuação Proporcional
Relações (válidas) C	9	5	56%
Hierarquia (válida) C x 5			
Ligações transversais (válidas e significativas) C x 10			
Exemplos (válidos) C	2	2	100%
Ligações transversais (somente válidas) C x 2			
Ligações transversais (Criativas ou peculiares) C			
Total	**11**	**7**	**64%**

Cm, assim como *C*, na apresentação física do mapa, as palavras de ligação foram colocadas ambos dentro de retângulos, o que figurou diferente da nossa apresentação desta teoria, que considerava que os conceitos estavam colocados dentro de figuras retangulares

ligadas por linhas onde eram escritas as palavras de ligação, formando uma proposição. Na proposição formada por "Efeito fotoelétrico" - "fator determinante" - "quanto maior a freqüência maior a corrente fotoelétrica", percebemos que para este aluno o valor da freqüência é o fator mais importante nesta interpretação. A definição do Efeito Fotoelétrico é a "emissão de elétrons de uma superfície devido à incidência de luz". Citou dois exemplos: sensores de luz e calculadoras solares. Os conceitos apresentados e organizados formaram um mapa muito parecido com o de mapa de *C.* Percebemos que estes alunos trocaram informações quando construíram seus mapas.

Mapa conceitual construído por *E*

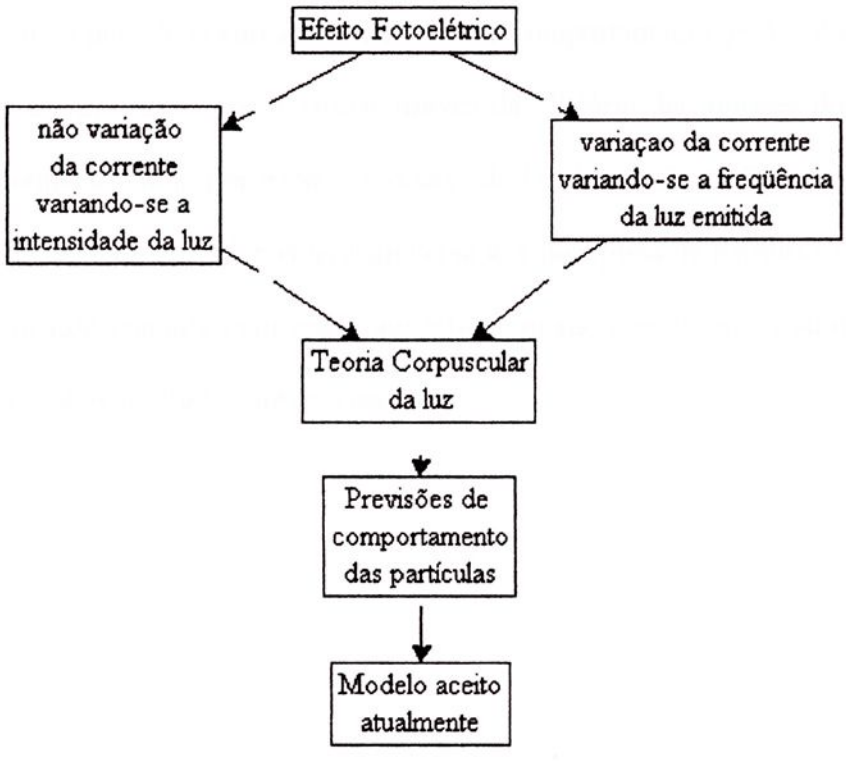


Figura 15 - Mapa conceitual elaborado por *E*

Tabela 10: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *E*

Critérios Classificatórios	Pontuação Construção	Pontuação Correção	Pontuação Proporcional
Relações (válidas) C	6	5	83%
Hierarquia (válida) C x 5			
Ligações transversais (válidas e significativas) C x 10			
Exemplos (válidos) C			
Ligações transversais (somente válidas) C x 2			
Ligações transversais (Criativas ou peculiares) C			
Total	**6**	**5**	**83%**

E caracteriza o Efeito Fotoelétrico no topo, o conceito principal, como uma parte da descrição do experimento, em que verifica que a freqüência é a responsável pela variação

da corrente, caracterizando a interpretação como corpuscular. *E* considera que a Teoria corpuscular da luz é o modelo atualmente aceito. Entretanto, esta concepção não está correta, pois a caracterização do modelo aceito atualmente para o comportamento da luz, é aceita pela comunidade científica, apesar de como vimos através da História, há grandes divergências entre os grandes cientistas, como por exemplo, o caso da Dualidade Onda-Partícula. Quando estes mapas foram construídos, os alunos haviam cursado a disciplina de Estrutura da Matéria I, por isso já tinham tido contado com estes conceitos iniciais, mas mesmo assim pudemos verificar que *E* apresentou confusões sobre o assunto.

Mapa conceitual construído por *F*

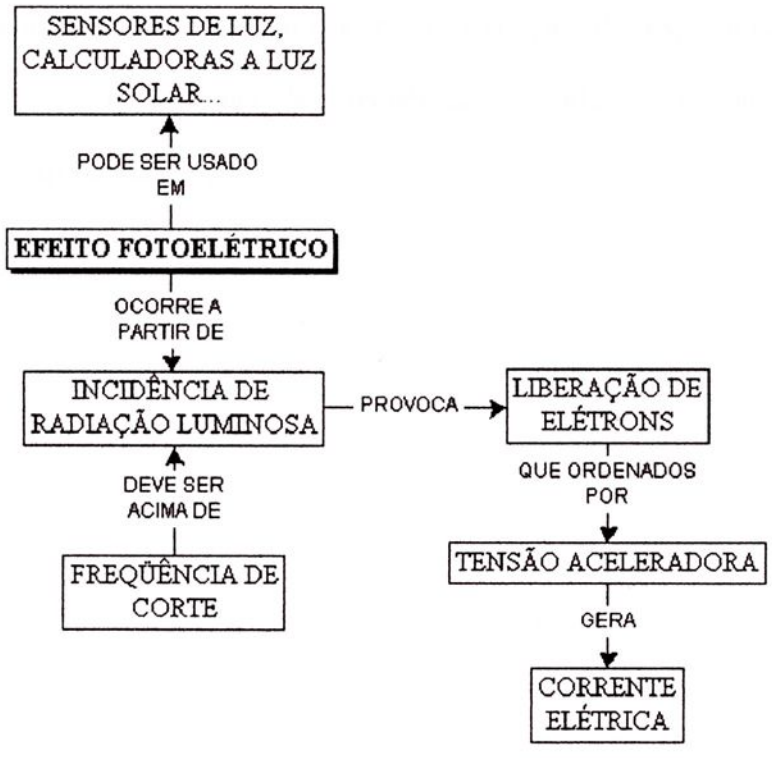


Figura 16 - Mapa conceitual elaborado por *F*

Tabela 11: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *F*

Critérios Classificatórios	Pontuação Construção	Pontuação Correção	Pontuação Proporcional
Relações (válidas) C	6	6	100%
Hierarquia (válida) C x 5			100%
Ligações transversais (válidas e significativas) C x 10			
Exemplos (válidos) C	1	2	200%
Ligações transversais (somente válidas) C x 2			
Ligações transversais (Criativas ou peculiares) C			
Total	**7**	**8**	**114%**

F constrói o mapa conceitual, tendo o "Efeito Fotoelétrico" como o conceito principal, sendo destacado no centro do mapa. Os outros conceitos partem dele. Observamos

que os exemplos foram colocados todos dentro de uma só caixa, porém em nossa pontuação consideramos que são dois exemplos ao invés de um. Este fato fez com que este aluno tivesse uma pontuação maior. *F* descreve, caracteriza a descrição do experimento do "Efeito Fotoelétrico". Destaca a importância da Freqüência de corte. *F* não apresentou falhas conceituais em seu mapa conceitual.

Mapa conceitual construído por *K*



Figura 17 - Mapa conceitual elaborado por *K*

Tabela 12: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *K*

Critérios Classificatórios	**Pontuação Construção**	**Pontuação Correção**	**Pontuação Proporcional**
Relações (válidas) C	13	11	85%
Hierarquia (válida) C x 5			
Ligações transversais (válidas e significativas) C x 10			
Exemplos (válidos) C	2	2	100%
Ligações transversais (somente válidas) C x 2			
Ligações transversais (Criativas ou peculiares) C			
Total	**15**	**13**	**87%**

K apresenta um mapa conceitual bem elaborado em termos de apresentação dos mapas conceituais, mas verificamos que ao especificar que o *"Efeito Fotoelétrico" "ocorre a*

partir de" "Incidência de Luz Ultravioleta em corpos metálicos", apresenta uma visão restrita sobre o tipo de luz para a ocorrência do Efeito Fotoelétrico. Tal concepção pode ter sido obtida da explicação do livro-texto, porque ao descrever o experimento, o autor destaca a incidência da luz ultravioleta incidindo na placa metálica. Esta afirmação é restritiva e por isso foi considerada errada, pois a luz ultravioleta deveria ser compreendida apenas como um exemplo de luz, porque não é somente para a luz ultravioleta que o Efeito Fotoelétrico acontece e sim, para a luz com diversos comprimentos de onda, por exemplo, os raios x. A proposição "Efeito Fotoelétrico" – por Thomson" – Emissão de elétrons" foi considerada errada. O retângulo com o texto "é sempre igual p/ elétrons associados aos raios catódicos" não foi caracterizada como um conceito, sendo considerada como ligação, o que diminuiu um nível hierárquico. *K* fez a descrição do fenomeno do Efeito Fotoelétrico e destacou a freqüência de corte e a dependência da energia dos elétrons à freqüência, o que identifica, porém não declaradamente, a quantização da energia.

Mapa conceitual construído por *R*

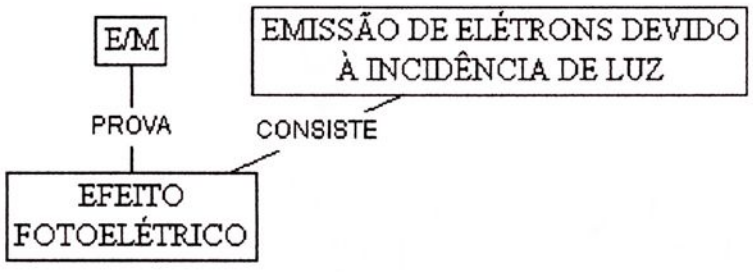


Figura 18 – Mapa conceitual elaborado por *R*

Tabela 13: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *R*

Critérios Classfificatórios	Pontuação Construção	Pontuação Correção	Pontuação Proporcional
Relações (válidas) C	2	1	50%
Hierarquia (válida) C x 5			
Ligações transversais (válidas e significativas) C x 10			
Exemplos (válidos) C			
Ligações transversais (somente válidas) C x 2			
Ligações transversais (Criativas ou peculiares) C			
Total	**2**	**1**	**50%**

A descrição do que é Efeito Fotoelétrico , para *R*, está relacionada com a "emissão de elétrons devido à inciência de luz". O mapa conceitual elaborado por *R* apresenta uma relação que não é verdadeira ao formar a seguinte proposição *"Efeito Fotoelétrico" " Prova" " E/M"*. E/M é uma relação que não é apresentada na explicação deste fenômeno. Este mapa conceitual apresentou um número muito reduzido de conceitos, caracterizando que este aluno não se lembrou de muita coisa sobre este experimento.

Mapa conceitual construído por *Rt*

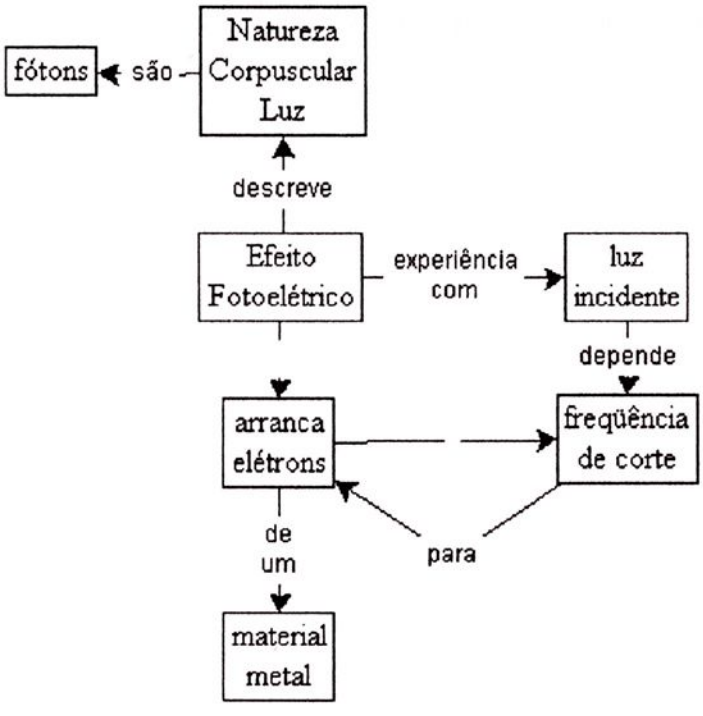


Figura 19 - Mapa conceitual elaborado por *Rt*

Tabela 14: Pontuação do mapa conceitual elaborado por *Rt*

Critérios Classificatórios	Pontuação Construção	Pontuação Correção	Pontuação Proporcional
Relações (válidas) C	6	6	100%
Hierarquia (válida) C x 5			
Ligações transversais (válidas e significativas) C x 10			
Exemplos (válidos) C			
Ligações transversais (somente válidas) C x 2	2	2	100%
Ligações transversais (Criativas ou peculiares) C			
Total	**10**	**10**	**100%**

Rt não apresentou falhas conceituais em seu mapa. Sua construção foi coerente com o formato proposto pela teoria dos mapas conceituais. O conceito "Efeito Fotoelétrico" está descrito no centro, mas apesar de não estar destacado, todos os outros conceitos partem dele, sendo ele considerado o conceito principal. Descreveu o "Efeito Fotolétrico" conforme o

fenômeno apresentado no experimento, onde uma "luz incidente" – "arranca elétrons" – dependendo da "freqüência de corte" e do "material metal". Conceituou como sendo a "Natureza Corpuscular da Luz" os "fótons", porém não relacionou este com outros conceitos dentro do experimento.

6.2.4 Classificação dos alunos em relação à mediana da pontuação obtida

A partir da pontuação individual dos mapas conceituais dos alunos, obtivemos o valor da mediana da pontuação por esta turma em 6 pontos. Com base neste valor calculamos o desvio de pontos de cada aluno em relação à mediana da pontuação desta turma, que consideramos como o desvio de acertos em relação à mediana desta turma. O gráfico 2 apresenta a distribuição desta relação.

Através desta relação, buscamos expressar, em números, uma comparação entre os mapas conceituais de cada aluno com o resto da turma. Observe como se apresenta, por exemplo, o total de pontos obtido por *Ag* (4 pontos) em relação a mediana da turma (6 pontos), representando um desvio de 2 pontos negativos, está representado no Gráfico 2 como sendo o valor -2. De acordo com esta classificação, o valor 0 representa a mediana da turma; então quem está abaixo deste valor significa que está com uma pontuação menor que 6 pontos e o contrário para quem está acima. Este aluno alcançou uma pontuação em relação à sua turma que o classifica em 2 pontos abaixo da mediana.

Cinco alunos (*K, Rt, Ad, F, Cm)* se encontram acima da mediana, ou seja, estão entre valores acima de 0 (zero); os outros quatro alunos (*E, A, Ag, C, R*) se encontram abaixo deste valor, estando, portanto, com uma pontuação abaixo da mediana desta turma. Observa-se, porém, que os alunos abaixo da mediana apresentam-se bem próximos uns dos outros (posição vertical do gráfico 2) com variação até 2 pontos negativos para quatro alunos (*E, A, Ag, C)* e exceto de um (*R*) com 5 pontos negativos. As máximas variações estão para *R* com 5 pontos abaixo e *K* com uma variação de 7 pontos acima.



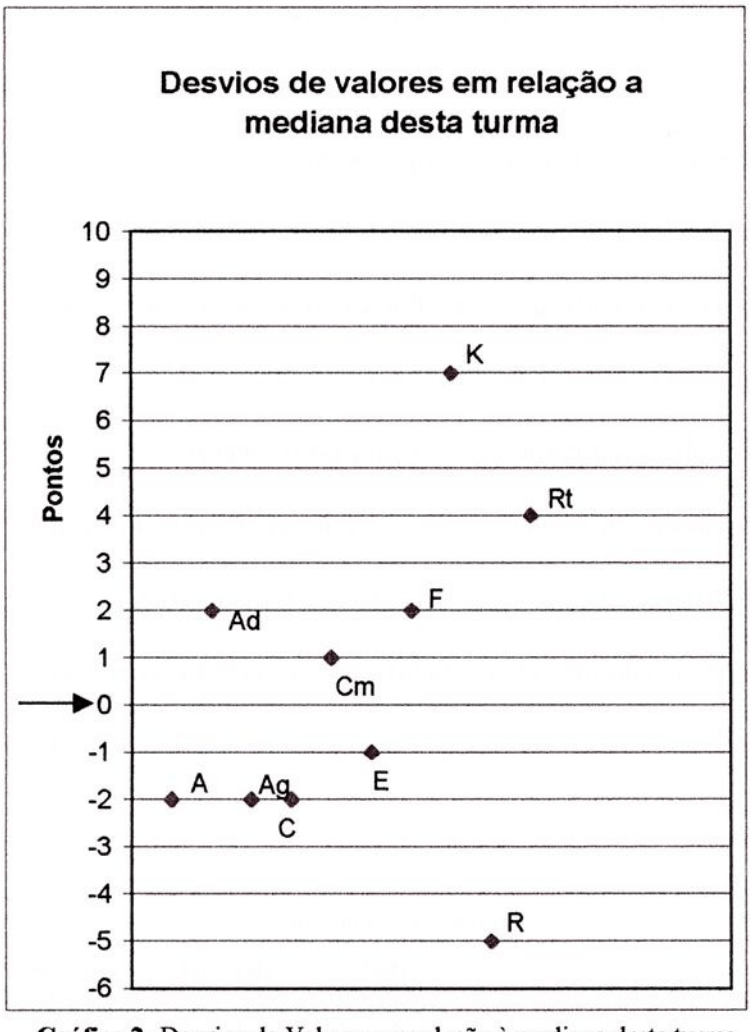


Gráfico 2: Desvios de Valores em relação à mediana desta turma

6.2.5 Comparação entre a primeira e segunda parte da pesquisa

Confrontamos os dados obtidos durante a primeira parte da pesquisa, quando os alunos responderam o questionário aberto sobre o Efeito Fotoelétrico, após o trabalho com a simulação computacional, com os valores obtidos por meio da pontuação feita aos mapas conceituais durante a segunda parte da pesquisa.

A **tabela 15** apresenta uma comparação entre o resultado dos testes aplicados na primeira parte da pesquisa – questão aberta sobre o Efeito Fotoelétrico, após o trabalho no

laboratório, descrito pelo Gráfico I e a segunda parte da pesquisa referente ao mapa conceitual resumido pela Tabela 3.

Observa-se que dentre os alunos que participaram da primeira parte, com a simulação para o Efeito Fotoelétrico, os alunos *F* e *A*, que foram enquadrados em (Ic) no trabalho com simulação computacional, de acordo com o gráfico 1, estiveram posteriormente próximos à mediana (desvio 2 pontos) no trabalho com mapas conceituais sobre este fenômeno. O aluno *E*, que descreveu corretamente o fenômeno, usando, inclusive, linguagem matemática (expressão) quando explicou o fenômeno após a simulação (Ia) também se apresentou próximo à mediana da turma (desvio 1 ponto). Os outros dois (*Rt, Ad)* que utilizaram um modelo parecido com o utilizado pela simulação, mas explicado com linguagem comum (Ib) se mantiveram próximos à mediana (variação até 4 pontos acima).

Tabela 15: Comparação entre índice de acertos, grau de coerência e representação esquemática do trabalho com simulação computacional

Alunos	Pontuação Corrigida	Desvios da Mediana Gráfico 2	Grau de Coerência-Tabela 3	Modelo utilizado – GRÁFICO 1
A	4	-2	44%	Ic
Ad	8	2	89%	Ib
Ag	4	-2	50%	IIc
C	4	-2	57%	-
Cm	7	1	64%	-
E	5	-1	83%	Ia
F	8	2	114%	Ic
K	13	7	87%	IIa
R	1	-5	50%	-
Rt	10	4	100%	Ib

LEGENDA DO GRÁFICO 1
DESENHO:
I Utilizou modelo similar ao da simulação
II Utilizaram modelo similar ao livro-texto
III Não utilizaram modelo
EXPLICAÇÃO:
a) Correta com linguagem científica.
b) Correta, com linguagem coloquial.
c) Parcialmente correto
d) Explicaram errado

O mesmo não acontece quando analisamos os alunos, *K* e *Ag,* que não utilizaram um modelo parecido com o da simulação. Observamos que *K* respondeu corretamente com linguagem formal e matemática, contudo não utilizando o modelo apresentado pela simulação

(IIa) no gráfico 1, seu mapa conceitual obteve a maior pontuação em 7 pontos acima da mediana. Se opondo a esta situação, *Ag* explicou o fenômeno de acordo com modelo apresentado pelo livro-texto (IIc) entretanto de maneira segmentada (compartimentada) chegando a apresentar explicações erradas, apresentou uma pontuação em seu mapa conceitual próxima à mediana, porém abaixo em 2 pontos. Cabe ressaltar, que *Ag* teve dificuldades em trabalhar com a simulação.

Os alunos *C* e *Cm* não participaram da simulação do Efeito Fotoelétrico durante a aula nem responderam ao questionário aberto após o trabalho. Obtiveram uma pontuação para os mapas conceituais próximas à mediana da turma. O aluno *R*, que apesar de ter participado do trabalho de simulação, não respondeu ao questionário aberto, pois não estava presente à aula, obteve uma pontuação baixa em seu mapa conceitual, sendo a menor da turma.

6.2.6 Mapa conceitual "padrão"

Sabemos que não existe um mapa conceitual correto ou errado e sim, o mapa conceitual que representa aquilo que o indivíduo está pensando naquele momento. Em outras palavras: não é correto afirmar que este mapa é errado e que este é certo. Mas podemos elaborar um mapa conceitual que mais se aproxime da concepção científica.

Por isso, durante o trabalho desenvolvido com mapas conceituais, pedimos ao professor da disciplina que construísse um mapa conceitual sobre o Efeito Fotoelétrico, que ele considerava o mais próximo da interpretação científica. Após algumas construções, que foram elaboradas pelo professor - que nunca tinha trabalhado com esta ferramenta didática - apresentou-nos os conceitos principais, que para ele deveriam ser compreendidos pelos alunos, ao final de um curso sobre este tema. A figura 20 apresenta um mapa conceitual composto pelos conceitos-chave de acordo com o professor.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

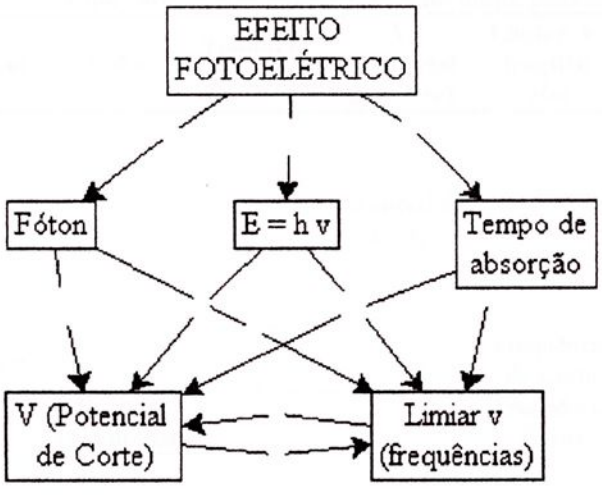


Figura 20 - Mapa conceitual padrão, construído pelo professor em novembro de 2003.

O professor chegou à conclusão, após algumas construções, desde o início do ano, que a ordem de disposição dos níveis de alguns conceitos podem ser alterados conforme a abordagem feita ao assunto. Por exemplo, este mapa conceitual poderia ter os conceitos "V (Potencial de corte)" e "Limiar ν (limiar de freqüência)" fazendo parte do segundo nível hierárquico e, abaixo, estariam os conceitos "fótons", "E=hν" e "Tempo de absorção".

Se fôssemos pontuar este mapa conceitual, obteríamos um valor de 34 pontos, considerando 9 ligações, 3 níveis hierárquicos, 1 ligação transversal biunívoca. Pelo fato de existir uma não estabilidade em relação aos "níveis hierárquicos", desconsideramos esta característica para a pontuação (ver item 6.2.2). Com isso, a pontuação para o mapa padrão é de 19 pontos.

Com base neste mapa conceitual padrão, montamos uma tabela (tabela 16) que apresenta, de forma resumida, todos os conceitos iguais ao mapa padrão, que apareceram nos mapas conceituais dos alunos. A coluna "Observação" apresenta os pontos principais que caracterizam a descrição do experimento, para a explicação do fenômeno, apresentada nestes mapas.

Tabela 16: Resumo dos conceitos-chave apresentados nos mapas dos alunos, em relação ao mapa padrão

	Conceitos chaves apresentados no mapa padrão						
Alunos	**Efeito Fotoelétrico**	**Fóton**	**E=hv**	**Tempo de Absorção**	**V (potencial de Corte)**	**Limiar v – freqüên-cias**	**Observação**
A	Efeito Fotoelétrico				Potencial de Corte		Emissão de luz numa superfície metálica...causa a excitação dos elétrons da placa...aplicação ddp a favor...ddp contrária
Ad	Efeito Fotoelétrico	Fóton				Freqüência de Corte	Colisões entre fótons e elétrons
Ag	Efeito Fotoelétrico		Energia Quantizada			Freqüência da luz	
C	Efeito Fotoelétrico						Emissão de elétrons de uma superfície devido à incidência de luz
Cm	Efeito Fotoelétrico					Freqüência	Emissão de elétrons de uma superfície devido à incidência de luz
E	Efeito Fotoelétrico					Freqüência	Variação da corrente, variando a freqüência da luz incidida
F	Efeito Fotoelétrico					Freqüência de Corte	Incidência de radiação luminosa...provoca liberação de elétrons...deve ser acima de uma freqüência de corte
K	Efeito Fotoelétrico					Freqüência de Corte	Incidência de luz ultravioleta em corpos metálicos...acima de freqüência de corte...provoca liberação de elétrons
R	Efeito Fotoelétrico						Emissão de elétrons devido à incidência de luz
Rt	Efeito Fotoelétrico	Fóton				Freqüência de Corte	experiência com luz incidênte ...arraca elétrons ... de um material metal...depende da freqüência de corte



7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância do estudo do fenômeno do Efeito Fotoelétrico é reconhecida como parte fundamental para a formação do cabedal cultural do professor e cientista, pelo seu papel dentro da história e surgimento da Física Quântica. Bastos Filho (2003) destaca o importante papel da interpretação quântica deste fenômeno para o desenvolvimento da Física Quântica e apresenta uma classificação bem apropriada sobre as relações de Einstein e De Broglie[8], como sendo "patrimônios cognitivos, pilares da teoria quântica em quaisquer que sejam as interpretações dadas à Mecânica Quântica por mais estranhas e esotéricas que sejam" (BASTOS FILHO, 2003, p.130).

Através das observações de alguns fenômenos descobertos no início do século passado, deu-se início à corrida pela busca de interpretações que pudessem explicar de maneira adequada tais fenômenos. Daí surgiram algumas interpretações que foram enquadradas como uma nova perspectiva – a Física Quântica. A partir daí, surge o que Khun (2001) chamou de mudança de paradigmas, pois a Física Clássica já não mais conseguia explicar todos os fenômenos físicos em nível quântico. Tal mudança ainda pode ser sentida neste século. As tormentas filosóficas que foram propostas a partir de então, representam um pouco do reflexo desta mudança. Com a nova interpretação, surge um mar de dúvidas, onde antes parecia ser terreno seguro. E esse parecer é dado pelos nossos olhos que buscam, por meio da interpretação, compreender o mundo.

Quando pensamos em formação de conceitos pelos alunos, devemos considerar o fato de que o indivíduo não é uma tábua rasa, vazio, e sim, que ele traz concepções que obteve em seu contato com o mundo, ao seu redor. Por isso, o passo inicial, para o ensino de um conceito, é levar o professor a conhecer o que seus alunos estão sabendo (AUSUBEL, 1980).

---

[8] Estas relações se referem às formulas $E = h\nu$, de Einstein, e, $p = h/\lambda$, por De Broglie.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

De acordo com Wandersee e Trowbridge (1998) a questão da interpretação das coisas, através do ver, que é subjetivo para cada indivíduo, deve ser considerada como um ponto importante, que provavelmente estará alterando a realidade, de acordo com a compreensão de cada indivíduo. Estes autores destacam o ato de ver como um fato físico que se inicia no olho e vai para o nosso cérebro (córtex cerebral) onde a imagem é interpretada de acordo com a componente existente na estrutura conceitual de cada indivíduo.

Procuramos com base nesta perspectiva analisar as representações dos alunos através dos mapas conceituais e verificar qual compreensão foi realmente assimilada por eles. Observamos que o trabalho com a simulação computacional influenciou a maioria dos alunos, para a compreensão dos fenômenos envolvidos no experimento do Efeito Fotoelétrico e esta ficou marcada durante a construção dos mapas conceituais, onde a maioria deles, ao se referirem a este conceito, descreveram o experimento conforme o apresentado pela simulação. O desenvolvimento da aprendizagem envolve os fatores internos, processo de compreensão subjetivo e também os fatores externos, tais como, o trabalho com a simulação.

Observamos que o "filtro" interno que codifica a mensagem recebida pelo aluno, pareceu-nos ser o principal agente transformador das mensagens. A interpretação, que é subjetiva, passa a ser a fonte transformadora dos conceitos a serem assimilados, por isto deve ser observada pelo professor, a fim de que venha ser verificada sua efetivação, de acordo com a concepção científica .

7.1 Construção de modelo explicativo para os fenômenos quânticos

Segundo Carvalho (1999) os recursos tecnológicos são ferramentas que dão possibilidades aos alunos de interação ativa no seu processo de (re)construção dos conhecimentos científicos ao invés de recebê-los prontos e acabados. Esta perspectiva visa

unesp

que os alunos alcancem um aprendizado significativo dos conhecimentos científicos. Nesta direção, acreditávamos que os alunos conseguiriam formar um modelo para a compreensão de tais fenômenos quânticos, por meio do trabalho proporcionado pela simulação, mesmo que dentro dos limites apresentados pela simulação, passando a incorporar a concepção científica de explicação, de acordo com a disciplina.

Inicialmente, observamos que a simulação computacional contribuiu para o aprendizado dos alunos, ao proporcionar um contexto favorável para trabalhar com experimentos de Mecânica Quântica, através da simulação de eventos quânticos por imagens, que representaram de modo simplificado, o fenômeno que teria visualização impossível num laboratório real.

O trabalho com tais fenômenos através de simulação computacional, mostrou-nos proporcionar condições mais favoráveis ao aprendizado dos conceitos iniciais de Física Quântica, uma vez que os alunos demonstraram interesse ao interagir com o programa computacional. O fato do programa computacional apresentar uma interação aluno-experimento, proporcionou aos alunos um campo de contato ativo com o fenômeno. O que antes fora descrito em sala de aula de maneira estática, passou a colocar o aluno interferindo ativamente através da simulação do experimento.

Na direção da obtenção de um contexto conceitual científico, compreendemos o significado educativo da simulação, como um fornecedor de um contexto dinâmico de interação do aluno com o experimento de fácil visualização, para o desenvolvimento inicial de contexto. Nesta proposta, entendemos que a postura do aluno deveria ser de um indivíduo ativo, não somente no sentido de "colocador" de números fornecidos, mas de um ser criativo, que testa possibilidades diferentes e propõe possíveis explicações para suas observações. Verificamos que os alunos tiveram neste momento a possibilidade de exercer sua criticidade

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

diante dos fatos estudados, podendo ampliar e dinamizar sua compreensão sobre determinado assunto.

7.2 Mapas conceituais como recurso de avaliação da aprendizagem efetiva

Buscávamos visualizar nos mapas conceituais, qual a compreensão alcançada pelos alunos, tomando como contexto principal, o tema Efeito Fotoelétrico. A análise destes mapas não foi tão fácil, tendo em vista o caráter subjetivo. Isto conduziu-nos a buscar várias possibilidades de análise. Dentre elas, introduzimos a pontuação dos mapas, seguindo a proposta de Novak (1999). Em seguida, uma análise das relações conceituais expressas pelos alunos.

Pela análise destes mapas, foi possível observar algumas proposições erroneamente constituídas pelos alunos, como por exemplo, *Ag*, *E*, *K* e *R*. Tais erros representaram uma compreensão "distorcida" da interpretação científica e puderam ser verificado por uma falha conceitual do aluno ou ainda pela obliteração de alguns conceitos que ficaram em desuso pelo indivíduo por um determinado período. Observamos que os alunos não conseguiram "alcançar" o domínio da compreensão dos conceitos pela codificação expressa por meio da linguagem matemática, para expressar, por exemplo, o conceito de quantização de energia (E=hv). As fórmulas apresentadas por eles para o fenômeno do Efeito fotoelétrico, geralmente estavam corretas, porém a ocorrência foi mínima e pouco relacionada, aparecendo a fórmula da energia cinética E = hv-wo, em *Ad* e *Ag*.

A maioria dos alunos ao se referirem ao Efeito Fotoelétrico, relacionaram-no com um fenômeno, como aquele modelo apresentado pela simulação. Este significado pareceu-nos um ponto positivo rumo à compreensão esperada pelo professor no início dos trabalhos, que

intentava que os alunos compreendessem o experimento, para ter uma idéia e, com isso, facilitar a compreensão da teoria.

Em relação aos conceitos-chaves apresentados a nós pelo professor, no final da disciplina, observamos (tabela 16) a ocorrência de utilização por quase todos os alunos do termo "Efeito Fotoelétrico" e "freqüência" ou "freqüência de corte", com exceção de *A, C* e *R*. Apenas *Ad* e *Rt* citaram a palavra fóton. O termo "quantização de energia", apesar de ter sido subentendido em alguns casos, só foi citado literalmente por *Ag*. O mesmo ocorreu com o termo "potencial de corte", sendo citado apenas por *A*.

Apesar de nossa análise, por um lado, atribuir valores aos mapas conceituais, conforme a pontuação descrita anteriormente, pudemos observar as relações significativas e possíveis falhas conceituais expressas por meio dos mapas. Neste contexto foi possível verificar aquilo que os alunos pensavam naquele momento. Tal análise deve ser destacada, pois apresenta-se muito significativa para o professor, como fonte de informações, para que ele possa analisar e preparar uma aula que seja mais apropriada rumo à correção das possíveis falhas conceituais demonstradas pelos alunos e apresentação de um campo fértil para o desenvolvimento da aprendizagem significativa.

Observamos que a pontuação do mapa conceitual é mais do que uma simples contagem dos retângulos, onde estão localizados os conceitos. Deve ser feita uma análise dos conceitos, porque, às vezes, os alunos podem ter dificuldades de representação, como por exemplo, o mapa de *F*. Da mesma maneira, outros alunos tiveram sua pontuação diminuída, após a correção dos mapas, por apresentarem palavras de ligação dentro de retângulos, que representam conceitos, como por exemplo, o mapa de *A*.

Em nosso caso, a pontuação não pode ser considerada como a classificação principal da aprendizagem significativa, mas uma referência, pois se pensarmos em termos de análise da compreensão conceitual dos alunos, uma vez que não fornecemos os conceitos-

-chave pré-estabelecidos pelo professor e sim, apenas aqueles que os alunos lembraram no momento.

Verificamos que a pontuação dos mapas conceituais passa a ser mais coerente, em termos avaliativos, quando associada com o quadro de significação expresso por cada aluno, ou seja, a avaliação da pontuação deve levar em consideração quais são os conceitos principais estabelecidos pelo professor, para que tal assunto possa ser compreendido. A partir daí, deve ser feito uma análise dos conceitos apresentados pelos alunos e verificar como eles o relacionaram e qual a pontuação obtida para esta montagem.

7.3 Considerações feitas pelo professor sobre nossa participação

Findados os trabalhos com os alunos (primeira e segunda parte) realizamos uma entrevista com o professor da disciplina, conforme sugestão da banca de qualificação, para que este pudesse comentar sobre a nossa influência para ele e para a sala de aula, durante a pesquisa. Durante esta entrevista (Anexo VII) fizemos perguntas sobre a formação do professor, sua experiência e suas pesquisas.

Observamos nesta entrevista uma atitude do professor em reproduzir o método de trabalho recebido de seus professores, ou seja, a influência da própria experiência do professor enquanto aluno, expressa na sua prática de ensino, agora como professor.

Sobre a formação do professor, observamos que tem o título de pós-doutorado em Física e desenvolve pesquisas na Ciência chamada dura, em Física. Atualmente, está estudando os supercondutores, na própria universidade em que leciona a disciplina Estrutura da Matéria I e II [trecho de 20 a 33][9]. Sua formação desde a graduação foi em Física pura.

[9] Todos os trechos referenciados a seguir, destacados entre colchetes, fazem parte do anexo VII.

Não fez parte de sua formação nenhuma disciplina sobre Educação e nenhuma leitura nesta área [trecho 2 a 17].

Quando interrogado sobre o que esperava que os alunos aprendessem sobre Mecânica Quântica, o professor destacou como ponto importante que os alunos compreendessem a "...transição que tem entre a Mecânica Clássica e a Mecânica Quântica..." através dos "...experimentos no final do século XIX e início do século XX, que não conseguiam ser explicados pela Mecânica Clássica..." e a interpretação apresentada por alguns físicos citados "...Einstein, De Broglie, Bohr, Planck e outros, que conseguiram, de alguma maneira, interpretar aqueles experimentos, dando uma nova visão à Física, ao que se chamou de Física Quântica, introduzindo novos conceitos..." e por fim, uma introdução à teoria de Schroedinger, destacando como mais importante a descrição correta do átomo de hidrogênio, feita com base nesta teoria [trecho 37 ao52].

A importância do estudo do Efeito Fotoelétrico neste contexto, é justificada por ser "...as primeiras confirmações da Teoria de Planck, de que havia a quantização de energia... e o conceito de partícula....." e os alunos deveriam compreender que "...a energia está concentrada em pacotes que são chamados de fótons." [trecho 54 a 62].

O professor afirmou não utilizar dados de sua pesquisa nas aulas de Mecânica Quântica, pois considera um trabalho muito extenso, porém disse que explica, às vezes, uma definição básica sobre metal, isolante, semicondutor e supercondutor [trecho 72 a 75].

Quando interrogado sobre o seu método de trabalho, o professor fala de suas aulas atuais, nas quais utiliza aulas expositivas, seminários e divide as aulas de exercícios em duas partes: matemática e conceitual, por último cita os recursos computacionais. Em seguida, revela que estes métodos de ensino se iniciaram juntamente com a nossa pesquisa e afirma que antigamente utilizava "...o método convencional...falava a aula inteira, dava a lista de exercícios para (o aluno) resolver que eu iria corrigir depois e dava duas provas por semestre

e pronto.". E foi pensando em facilitar o ensino de Mecânica Quântica e tornar a aula mais eficiente, menos cansativa, que o professor abandonou o método anterior [trecho 78 a 89].

Sobre a escolha do programa FcO (Física con Ordenador) o professor destaca a interatividade proporcionada entre os vários experimentos considerados importantes para a compreensão dos conceitos iniciais de Mecânica Quântica e a facilidade de manipulação da parte gráfica do programa [trecho 102 a 111]. (Apesar da facilidade de manipulação encontrada neste programa FcO, ressaltamos a importância da explicação aos alunos, no sentido de orientação do experimento, apesar de o próprio programa ter um texto explicativo, este pode gerar algumas dúvidas, por ser em espanhol e também pode apenas mudar o local do texto – do livro para o computador. Portanto, deve-se verificar bem qual a intenção deste tipo de experimento, que de acordo com nossa compreensão, observamos uma função de interatividade aluno-experimento como o fator principal disponibilizado por este recurso e não como livro-texto, o que poderia tornar a aula maçante).

Quando interrogado sobre o que o professor esperava de nossa participação no trabalho com a simulação, o professor afirma que "...gostaria de ver o resultado da pesquisa, para ver se realmente vale a pena investir neste tipo de coisa ou não...". Inicialmente toma como hipótese que um trabalho com simulação, como este, pode ajudar "...a pessoa a imaginar o que está acontecendo." E em seguida, conclui que a simulação ajuda, porém chama a atenção para a necessidade de "...um trabalho de complementação.", porque existe "...uma série de detalhes que a simulação, pelo menos neste tipo, não mostra; que se dá à interpretação uma visão clássica, de muitos efeitos que podem ser quânticos." [trecho 117 a 134].

O professor demonstra ter dúvidas sobre qual seria o trabalho "mais eficiente" de "complementação" a ser feito: "deixar o aluno lá, sozinho, sem nenhuma explicação para ele se virar e descobrir o que é, ou se é melhor dar uma explicação primeiro, antes de utilizar o

software ou ele utilizar o *software* e eu dar a explicação depois." Sugere que para sanar estas dúvidas, seria necessário "fazer um teste com e outro, sem a orientação do professor", para verificar qual é "o mais eficiente". E que isto poderia ser um resultado fornecido por esta pesquisa.[trecho 134 a 139].

O professor negou que nossa presença durante as aulas poderia ter causado alguma mudança de atitude do professor e/ou alunos. Porém, afirmou que tivemos uma forte interferência durante as aulas de laboratório, pois ao entregarmos a apostila, estaríamos induzindo os alunos a como funcionava o programa [trecho 155 a 160].

Sobre a utilização da apostila (tradução do texto do experimento do próprio programa) durante a aula de simulação, apesar de o professor dizer que não tinha uma idéia formada sobre isto, concordou que quando se trabalha com a *Internet* "...as pessoas têm a tendência a não ler as instruções, elas vão direto, e querem descobrir. E geralmente descobrem." [trecho 171 a 175].

Em relação à filmagem que realizamos durante o trabalho no laboratório, o professor acredita que durante o trabalho de execução da simulação, onde os alunos ficaram sentados à frente do computador, não houve interferência, porém, durante a discussão no final da simulação (segunda parte da aula), "...fez alguma diferença... se não tivessem induzindo eles a fazerem este trabalho, talvez eles tivessem sido um pouco mais passivos." [trecho 178 a 190].

Para o professor, o uso da simulação facilita o entendimento dos conceitos novos de Mecânica Quântica, que são muito abstratos e difíceis de se imaginar, pois proporciona uma interação dos alunos com os experimentos, tornando familiar tais conceitos [trecho 200 a 211].

O professor reconheceu que o trabalho realizado por esta pesquisa contribuiu com mudanças em sua postura como professor, ao passo que esta nova experiência acarretou em

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

críticas sobre tudo que ele estava fazendo em sala de aula, visto que, sua própria formação foi tradicional, na base do "se vira, sozinho" [trecho 216 a 223]. O professor observou que a prova causava um aumento no "stress" dos alunos, que, por isso, teve seu peso diminuído de 70% à 30%. Segundo sua experiência, esta diminuição do "stress" fez com que os alunos conseguissem absorver mais informação [trecho 226 a 228]. A partir desta reflexão, o professor passou a dar mais valor ao diálogo, a um contexto em que os alunos também discutissem sobre os conceitos. Introduziu aulas de exercícios matemáticos e conceituais e exigia a explicação pelos alunos ao final das aulas, simulação computacional e seminários, fatos que contribuíram para melhorar o rendimento dos alunos [trecho 230 a 248].

Não podemos afirmar que nosso trabalho foi a origem dos motivos pelos quais o professor mudou a sua metodologia de aula, porém, o que observamos é que este trabalho cooperou para sua mudança, a partir do momento da ocorrência de nossa interferência durante o trabalho, com a simulação e nossa presença freqüente em diálogos com o professor e o próprio resultado de nossa análise. Observamos que o professor tinha se decepcionado com o resultado das avaliações de seus alunos em turmas passadas e este provavelmente tenha sido a origem principal de suas reflexões – a ineficiência de sua metodologia de trabalho. Isto desencadeou uma abertura para uma busca por uma metodologia mais apropriada à realização da aprendizagem.

Sobre os trabalhos com simulação, o professor sabe que o *software* não é auto-suficiente, porém ainda tem dúvidas de qual seria o melhor jeito de trabalhar. Sugere que para sanar estas dúvidas, fosse interessante fazer uma pesquisa com e outra sem a orientação do professor, para verificar qual é a melhor. Não concordamos com esta proposta, pois de acordo com nossa concepção, para que o aluno consiga alcançar este "construir" sozinho, ele deve estar sendo orientado, pois é reconhecido em várias pesquisas o papel fundamental do professor na orientação, para o desenvolvimento da aprendizagem.

unesp

Acreditamos que os alunos não podem ir até o laboratório e ficar tentando, tentando... até construir uma idéia sobre o fenômeno. Mesmo que exista a possibilidade de uma construção deste tipo, através da interpretação do fenômeno, como fez Einstein, não acreditamos ser possível um aluno conseguir ter uma capacidade tão "excepcional," capaz de formular e interpretar tal fenômeno. Por isso, acreditamos que o professor deve abordar inicialmente o tema, de uma maneira "ampla", para que os alunos tomem o primeiro contato com os temas gerais que irão desenvolver ao trabalhar com este experimento e depois façam o experimento com toda a orientação do professor que deve estar presente nas aulas de laboratório, para que os alunos não se dispersem e sejam orientados, principalmente, durante a discussão posterior, sobre as possíveis interpretações clássicas utilizadas na simulação que estariam se referindo aos fenômenos quânticos.

Portanto, a simulação é um ótimo trabalho para que os alunos componham sua compreensão sobre determinado tópico, porém ela deve vir acompanhada de orientação, tanto anterior (visão mais geral) quanto posterior (visão mais específica) sobre as implicações deste experimento dentro da Física Quântica.

Esta perspectiva de aprendizagem vem ao encontro da Teoria dos Mapas conceituais, que está fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa, ao organizar as idéias desta maneira, sendo os conceitos mais gerais ou mais abrangentes ao topo e abaixo, os conceitos mais específicos ou mais inclusivos. E é dentro desta perspectiva que sugerimos ao professor, propor uma metodologia que possibilite a "construção" aos alunos.

7.4 Sugestões para trabalhos futuros

Neste trabalho, portanto, procuramos desenvolver o uso da simulação para a formação de modelo explicativo ao experimento, para formular o que Ausubel chama de

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

organizadores prévios e facilitar a aprendizagem; porém, esta só foi elaborada depois da aula teórica do professor. Isto fez com que sugeríssemos que a realização da simulação computacional pelos alunos, seja realizada antes da introdução do tópico a ser desenvolvido.

Ao analisar os mapas conceituais, destacamos que esta análise representa para nós uma proposta inicial para *avaliação* dos alunos e que os parâmetros para encontrar a mediana da pontuação final dos mapas após a correção (**Tabela 3)** pode ser mais bem apropriada, desde que o professor se proponha a desenvolver um trabalho, com a aplicação dos mapas conceituais, como parte integrante do seu processo de *avaliação continuada.*

Desenvolver um trabalho onde seja inserido um processo de avaliação constante, pode ser amparado pelo uso de mapeamento dos conceitos dos alunos, pois através da análise destes mapas conceituais pelo professor, torna visível a verificação das possíveis concepções alternativas dos alunos.

Com base neste trabalho, sugerimos ao professor que for iniciar um trabalho com esta técnica, que forneça aos alunos um tempo maior na introdução desta teoria, oferecendo a oportunidade para construírem um mapa conceitual de outro conteúdo, um poema, por exemplo, como propõe Moreira (1985) a fim de que possam alcançar uma melhor compreensão do uso desta ferramenta e a partir daí, passarem a construir mapas conceituas para o tema específico da disciplina em questão.

Enfim, observamos que o uso dos mapas conceituais pode ser um bom recurso avaliativo, pois pode-se verificar através deles, como os alunos estão compreendendo o discurso apresentado em aula, tanto através do livro-texto como pela fala do professor. Também pode ser utilizado para ajudar os alunos a organizarem seus conhecimentos e reconhecer outras possibilidades de organização conceitual. Enfim, ressaltamos que a construção dos mapas conceituais pode ser elaborada sem recursos mais dispendiosos, uma vez que apenas o lápis e o papel são suficientes para esse trabalho.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. C. P. de; SOUZA, A. R. de. Uma alternativa para o ensino de Física Quantica Introdutória, numa perspectiva de aprendizagem significativa através da utilização do software "Física con Ordenador" e de Mapas Conceituais. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 15., 2003, Curitiba. **Programa e Resumos**. Curitiba, Imprensa Universitária da UFPR, 2003. p. 164.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: 2002. São Paulo: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: 2002. São Paulo: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: 2002. São Paulo: ABNT, 2002.

AUBRECHT, G. J.; et al. Introductory students'ideas about quantization and the photon. In: AAPT SUMMER MEETING, 1999, San Antonio. **Announcer.** San Antonio: College Park, Summer, 1999. p.102. Abstract.

AUSUBEL, D.P. **The Psychology of Meaningful Verbal Learning.** New York: Grune & Stratton, 1963.

AUSUBEL, D.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Educational Psychology. A Cognitive View.** 2. ed. New York: Holt, Rinehart & Winston, 1978.

AUSUBEL, D.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BAO, L.; JOLLY, P.; REDISH, E. Student difficulties with Quantum Mechanics. Oral Communication, **AAPT Summer meeting**, Phoenix, Aug. 8-6, 1996. Disponível em: <www.physics.umd.edu/perg/cpt.html>. Acesso em: 22 agosto 2002.

BAO, L.; JOLLY, P.; REDISH, E. **AAPT Winter meeting,** 1997. Disponível em: <www.physics.umd.edu/perg/cpt.html>. Acesso em: 13 abril 2002.

BARTON, G. Quantum dynamics of simples systems. **Contermporany Physics**, London, v.38, n.6, p. 429-430, Nov./Dec. 1997.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

BASTOS FILHO, J. B. Os problemas Epistemológicos da Realidade, da Compreensibilidade e da Causualidade na Teoria Quantica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.25, n.2, p.125-147, jun. 2003.
BIRBAUM, J. **APS News,** v.8, n.6, p.12, 1999.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos.** Portugal: Porto Editora, 1999. (Tradução Maria João Alvarez, Sara Bahia dos Santos e Telmo Mourinho Baptista). 335 p.

CARVALHO, A. M. P. de. (coord.) et.al. **Termodinâmica - um ensino por investigação**. São Paulo: FEUSP, 1999. 123 p.

COLEMAN, L. A.; HOLCOMB, D. F.; RIGDEN, J. S. **American Journal of Physics,** v.66, n. 2, p. 124, 1998.

DAVIDOVICH, L. "Está a Física esgotada?" **Revista Fapesp**, v.46, n.9, 1999. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/>. Acesso em: 13 abril 2002.

DUCK, I. A. N.; SUDARSHAN, E. C. G. **100 Years of Planck's Quantum**. Singapore: World Scientific Publishing Co., 2000.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica.** Tradução de Paulo Costa Ribeiro; Enio Frota da Silveira; Marta Feijó Barroso. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1986.

EJNISMAN, R. ; NUSSENZVEIG, P. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.19, n.1, p.90, 1997.

EULER, M.; HANSELMANN, M.; MÜLLER, A.; ZOLLMAN, D. **Students' views of models and concepts in modern physics**. Paper presented at the ANNUAL MEETING NATIONAL ASSOCIATION FOR RESEARCH IN SCIENCE TEACHING, Boston, MA. March, 1999. 4p. Disponível em: <www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst> Acesso em: 11 agosto 2000.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R.; SANDS, M. **The Feynman lectures on physics**. New York: Addison-Wesley Publishing Company, 1965.

FISCHLER, H., LICHTFELDT, M. Modern physics and students' conceptions. **International Journal of Science Education**, London, v. 14, n.2, p. 181-190, Apr./June 1992.

FLETCHER, P., JOHNSTON, I. Quantum Mechanics: exploring conceptual change. **NARST.** Paper presented at the ANNUAL MEETING NATIONAL ASSOCIATION FOR RESEARCH IN SCIENCE TEACHING, Boston, MA. March, 1999. Disponível em: <www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst>. Acesso em: 15 abril 2002.

GARCIA, A. F. (1998). Física con Ordenador: Curso Interactivo de Física en Internet. Disponível em: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm> Acesso em: 11 maio 2003.

GERRY, C. C.; KNIGHT, P. L. **American Journal of Physics,** v.65, n.10, p.964, 1997.

GRECA, I. M.; HERSCOVITZ, V.E. **Simpósio de David Bohm**, v.2, n.85, 2000.

GRECA, I. M. e MOREIRA, M. A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da mecânica quântica introdutória. **Investigações em Ensino de Ciências,** Rio Grande do Sul, v.6, n.1, 2001, p. 5 Disponível em: <www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol6/n1/v6_n1_a1.htm> Acesso em: 15 abril 2002.

HOBSON, A. **The Physics Teacher,** v. 34, n. 4, p.202, 1996.

HOOD, C. G. **The Physics Teacher,** v.31, n.5, p.290, 1993.

JOHNSTON, I. D.; CRAWFORD, K.; FLETCHER, P. R. Student difficulties in learning quantum mechanics. **Internatonal Journal of Science Education**, London, v.20, n.4, p. 427-446, April/May 1998.

KONRATH, M. L. P. **Noções Básicas sobre CMap Tools** (software desenvolvido pelo Intstituto for Human and Machine Cognition da The University of West Florida). Disponível em: <http://penta2.ufrgs.br/edutools/tutcmaps/tutindicecmap.htm> Acesso em: 05 de maio de 2003.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 6. ed. São Paulo: Editora Perspectiva S. A., 2001.

LAWLESS, C. **Stud. High. Educ**., v. 7, n. 2, p. 133, 1982.

LOPES, L. A CIÊNCIA e a construção da sociedade. **Ciência e Cultura,** São Paulo, v.36, n.10, p. 1732-1741, out. 1984.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas.** São Paulo: EPU, 1986. 99 p.

Mc.DERMOTT, L. C.; REDISH, E. F. Resouce letter: PER-1: Physics Education Research. **American Journal of Physics**, College Park, v. 67, n.9, p. 755-767, 1999.

MC.DERMOTT, Lillian C.; REDISH, Edward. F. Resource Letter: PER-1: Physics Education Research. **American Journal of Physics.** v. 67, n. 9, p.755-767, 1999.

MOREIRA, M. A.; MANSINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel.** São Paulo: Moraes, 1982.

MOREIRA, M. A. **Atividade Docente na Universidade**: alternativas instrucionais. Porto Alegre: D. C. Luzzatto Ed. Ed da FURG, 1985.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais no ensino de Física.** Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 1992. 44 p. (Textos de apoio ao Professor de Física, nº3).

MOREIRA, M. A; SOUZA, Célia Maria S. G de. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa no Ensino de Física.** In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 15., 2003, Curitiba. **Minicurso**.... Curitiba, Imprensa Universitária da UFPR, 2003.

NetOpSchool (2001). Programa de controle de acesso à aplicações e sites na Internet. Disponível no site: <http://www.netop.com/> Acesso em: 15 junho 2002.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprender a aprender**. 2.ed. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1999.

NOVAK, J. D. (2002). Institute for Human and Machine Cognition. **IHMC Cmap Tools**. Disponível em: <http://www.coginst.uwf.edu/about/index.html >Acesso em: 20 abril 2002.

NUSSENZVEIG, M. **Curso de física básica**, vol. 4, Edgard Blücher, 1998.

PENTEADO M. G. **O computador na perspectiva do desenvolvimento profissional do professor**. 1997. 96 f. Tese (Doutorado em Educação) - UNICAMP, Campinas, 1997.
PESSOA Jr, Osvaldo. Interferometria, Interpretação e Intuição: uma Introdução Conceitual à Física Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.19, n.1, p. 27, mar. 1997.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

REBELLO, N. S.; ZOLLMAN, D. (1999) **NARST** Annual Meeting, 1999. Disponível em: <www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst> Acesso em: 11 abril 2002.

REDISH, E. F.; BAO L. (1997) **AAPT.** Phoenix meeting, 1997. Disponível em: <www.physics.umd.edu/rgroups/ripe/perg/quantum/aapt97qe.htm>. Acesso em: 10 abril 2002.

Revista Brasileira de Ensino de Física. Número Especial de Mecânica Quântica. São Paulo, v.19, n.1, mar. 1997.

ROCHA, H. V. (1999). **A teoria de Ausubel**. Disponível em: <www.dcc.unicamp.br/~heloisa/MO642/AUSUBEL/> Acesso em: 05 abril 2002.

RÜDINGER, E. On the teaching of introductory quantum mechanics. **American Journal of Physics**, New York, v. 44, n.2, p. 144-148, Feb. 1976.

SANTOS, E. **American Journal of Physics**. v.44, n. 3, p. 278, 1976.

SCARANI, V.; SUAREZ,A. **American Journal of Physics.** v. 66, n. 8, p. 718, 1998.

SCHENZLE, A. **Contemporany Physics**. v. 37, n. 4, p. 303, 1996.

SCHWAB, J. The Pratical 3: Translation into Curriculum. **School Review**. v. 81, n. 4, p. 501-522, 1973.

STORY, R. Bridging a quantum-mechanical barrier. **IEEE Transactions on Education**, New York, v. 41, n.1, p. 54-60, 1998.

THALLER, B. **Visual Quantum Mechanics Selected Topics with Computer**-Generated Animations of Quantum-Mechanical Phenomena. Austria: University of Graz, 2000, 283 p.

TIPLER, Paul A. **Física Moderna**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A., 1981. p. 90-93.

ZEILINGER, A. **Nature.** v. 398, n. 6724, p. 210 , 1999.

cm 1 2 3 4 5 6 7 unesp 11 12 13 14 15 16 17 18

WANDERSEE, J. H.; TROWBRIDGE, J. E. Theory-Driven Grafic Organizers. In MINTZES, J. J.; WANDERSEE, J. H.; NOVAK, J. D. (Org.) **Teaching Science for Understanding:** a Human Constructivist View. USA: ACADEMIC PRESS, 1998. p. 95-131

ANEXO I – PERFIL DOS ALUNOS

QUESTIONÁRIO – EXPERIÊNCIA EM INFORMÁTICA
FC/UNESP/BAURU - DISCIPLINA - ESTRUTURAS DA MATÉRIA I (2º SEM/2002)

Nome:			
Idade:	End:		
Graduação em :		Início:	☐ em andamento
		Término (previsão):	☐ graduado
Você utiliza o computador? ☐ diariamente ☐ esporadicamente ☐ não usa			
Como você utiliza o computador (qual o tipo de aplicação)?			
☐ editor texto	☐ Internet	☐ Simulação	☐ outros:
Você já utilizou o computador em sala de aula? ☐ sim ☐ não			
Se você o utilizou em sala de aula, preencha o quadro abaixo sobre tal experiência:			
Qual o programa utilizado?	Para que finalidade e qual disciplina?	Com qual desempenho?	
		☐ ótimo ☐ bom ☐ ruim Obs:	
		☐ ótimo ☐ bom ☐ ruim Obs:	
		☐ ótimo ☐ bom ☐ ruim Obs:	
		☐ ótimo ☐ bom ☐ ruim Obs:	
		☐ ótimo ☐ bom ☐ ruim Obs:	
		☐ ótimo ☐ bom ☐ ruim Obs:	
Aonde você tem acesso ao computador? ☐ faculdade ☐ em casa ☐ trabalho ☐			
Você considera importante a utilização de computadores? Para que e por que?			

ANEXO II – ROTEIRO UTILIZADO NA SIMULAÇÃO DO "EFEITO FOTOELÉTRICO"

ROTEIRO: "EFEITO FOTOELÉTRICO" - FÍSICA CON ORDENADOR
FC/UNESP/BAURU - DISCIPLINA - ESTRUTURAS DA MATÉRIA I (2º SEM/2002)

O programa "Física con Ordenador" esta disponibilizado pela Internet, no seguinte endereço eletronico: www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/fotoeletrico/fotoeletrico.htm

Com a finalidade de apresentação deste programa seguiremos o roteiro de prática de simulação do Efcito Fotoclétrico, com basc no rotciro original do próprio programa.

Atividades:

I) Prática de Simulação do Efeito Fotoelétrico:

1. Escolher o material da placa metálica.
2. Introduzir o comprimento de onda de radiação que ilumina a placa, sua unidade de medida é dada em Å, o valor deverá ser escrito com quatro (4) dígitos.
3. Para I>0 (intensidade de radiação), vocês deverão verificar que quanto maior for a intensidade, maior será o desvio do amperímetro, quando a corrente passa pela foto célula.
4. Então, clique o botão – FÓTON.
5. Se não houver emissão, diminuir o comprimento de onda, isto aumenta a freqüência.
6. Se houver emissão, observe o movimento do elétron. O campo elétrico freia o elétron e eventualmente o faz regressar a placa metálica, se sua Energia Cinética não for suficiente.
7. Modificar o potencial variável da bateria, até que o elétron chegue junto a placa oposta, no momento em que o amperímetro deixe marcar a passagem da corrente.
8. Guardar o potencial da bateria por excesso ou por defeito, e o comprimento de onda no controle de área de texto, situada à esquerda do monitor, clicando – DATOS.
9. Repetir a experiência introduzindo um novo valor para o comprimento de onda da radiação que ilumina a placa metálica.
10. Terminado a coleta de dados, de números suficientes de dados, clicar – ENVIAR – para que haja a representação gráfica.
11. Os pares de dados – comprimento de onda / potencial de retenção – podem ser introduzidos manualmente na área de texto, separando o par de dados, por uma vírgula e clicando – RETORNO OU ENTER..



II) Resultados

12. Clicar o botão – CALCULAR – para obter apresentação gráfica dos dados e a reta que melhor se ajuste. Se o número de dados for insuficiente, ou se produzir algum erro, clique em – BORRAR - para limpar a área de texto.
13. A partir do gráfico obtém-se a energia de arranque dos elétrons do metal lendo a ordenada na origem da reta traçada, ou o valor do parâmetro *b* na linha de estado na parte superior do monitor→ energia de arranque dos elétrons = ø = *b*.
14. A tangente da reta é o valor do parâmetro *a* e mede o cociente entre as constantes fundamentais *h/e* (de acordo com a explicação na descrição) → *a* = *h/e*.
15. Para obter *h* (constante de Planck), deve-se levar em conta que a freqüência da radiação eletromagnética, que é horizontal, em Hertz, seja multiplicada pelo fator 10^{14}. A carga do elétron é igual a e=1,6x10^{-19}C. Portanto, o valor de *h* é obtido multiplicando a tangente *a* pela carga *e*, dividindo pelo fator 10^{14}.
16. $h = a$ x 1,6.10^{-19} x 10^{-14} Js

Obs: Se aconselha que o estudante faça por si mesmo o tratamento dos dados deste exemplo instrutivo, representando graficamente os dados experimentais e determinando a reta de regressão que melhor se ajuste. Posteriormente, comparará seus resultados com os do programa interativo. Os dados da experiência se podem recorrer em tabelas como a seguinte:

METAL=	
Comprimento de onda	**Potencial V_0**
Energia de arranque ϕ=	
Constante de Planck *h*=	

Escolha outro metal disponível na caixa combinada para experimentar outra vez o efeito fotoelétrico, envolvendo a obtenção do valor da constante *h* de Planck.

ANEXO III - QUESTIONÁRIO ABERTO, "ANTES" DA SIMULAÇÃO

QUESTIONÁRIO ABERTO RESPONDIDO PELOS ALUNOS NO DIA 25 DE SETEMBRO DE 2002, "ANTES" DO TRABALHO COM A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA O EFEITO FOTOELÉTRICO

Nome: A Nº ____ Data 25/09/02

I) De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos Fenômenos envolvidos no Efeito Fotoelétrico. Explique-os.

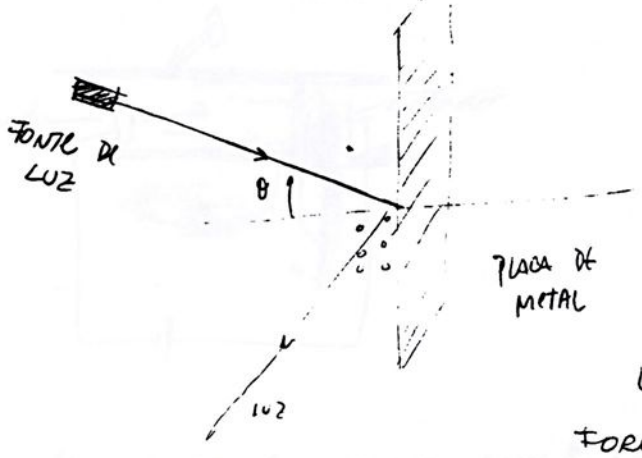


O efeito fotoelétrico nada mais é um fenômeno relacionado à incidência de luz sobre as superfícies dos corpos. Foi comprovada experimentalmente que quando se incidia luz sobre uma superfície (de preferência metálica, pois tem mt possui maior tendência de perder elétrons), esta liberava energia em forma de fótons, ou seja, em forma de pacotes de energia, como foi descrito por Einstein.

Esta energia liberada depende com qual frequência a luz incide sobre uma superfície. Existe sempre o mínimo necessário de energia para que o efeito fotoelétrico ocorra.

Nome: Ad Nº.____ Data 25/09/2002

I) De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos Fenômenos envolvidos no Efeito Fotoelétrico. Explique-os.

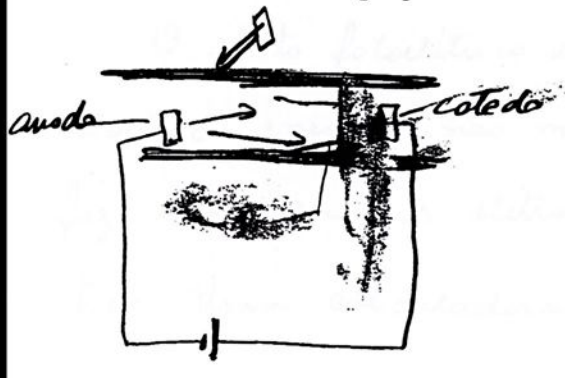


AO INCIDIR SOBRE A PLACA DE METAL, O FEIXE DE LUZ FAZ COM QUE ALGUMAS "PARTÍCULAS" DA PLACA SEJAM ARRANCADAS, OU SEJA, HÁ COLISÕES ENTRE A PLACA DE METAL E A LUZ. SE A LUZ COLIDE, SIGNIFICA QUE É FORMADA POR MINÚSCULAS PARTÍCULAS (FÓTONS). TAL EFEITO COMPROVA A NATUREZA CORPUSCULAR DA LUZ.

PRÉ-TESTE - EFEITO FOTOELÉTRICO
FC/UNESP/BAURU - DISCIPLINA - ESTRUTURAS DA MATÉRIA I (2º SEM/2002)

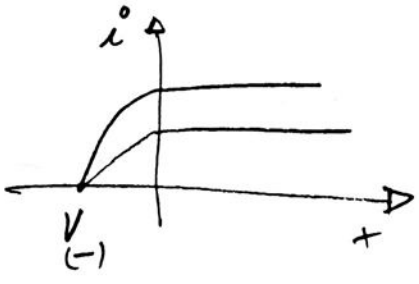
Nome: Ag Nº.____ Data 25/09/02

I) De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos Fenômenos envolvidos no Efeito Fotoelétrico. Explique-os.



Uma fonte luminosa emite radiação (fótons) sobre uma placa de metal. Os fótons sensibilizam a placa arrancando elétrons que são direcionados por um campo uma outra placa que, absorvendo esses elétrons, formam uma corrente elétrica que é detectada por um amperímetro.

Com esse equipamento fica demonstrado que a radiação(luz) tem comportamento de "partícula"



Invertendo-se o campo, verificou-se que um Valor máximo V equivalia ao máximo de energia cinética obtida pelo elétron p/ atingir a chapa, sendo que Vmáx não depende de i

Pelo experimento ficou comprovado que a luz tb possui comportamento de partícula.

Nome: Cm Nº.____ Data 25/09/02

I) De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos Fenômenos envolvidos no Efeito Fotoelétrico. Explique-os.

O efeito fotoelétrico envolve a incidência de luz à níveis de energia não muito altos, onde o fóton da luz faz com que os elétrons de um material seja transmitido.

Ex: Uma calculadora solar.

Acredito que como para ocorrer o efeito fotoelétrico, a energia da luz não deve ser muito alta (senão ocorreria outros fenômenos como efeito compton, produção de pares) ele não tem muita aplicabilidade prática, pois não produz correntes muito altas.

Nome: F Nº.____ Data 25/09/02

I) De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos Fenômenos envolvidos no Efeito Fotoelétrico. Explique-os.

Entendo que o movimento dos elétrons provoca emissão de fótons.

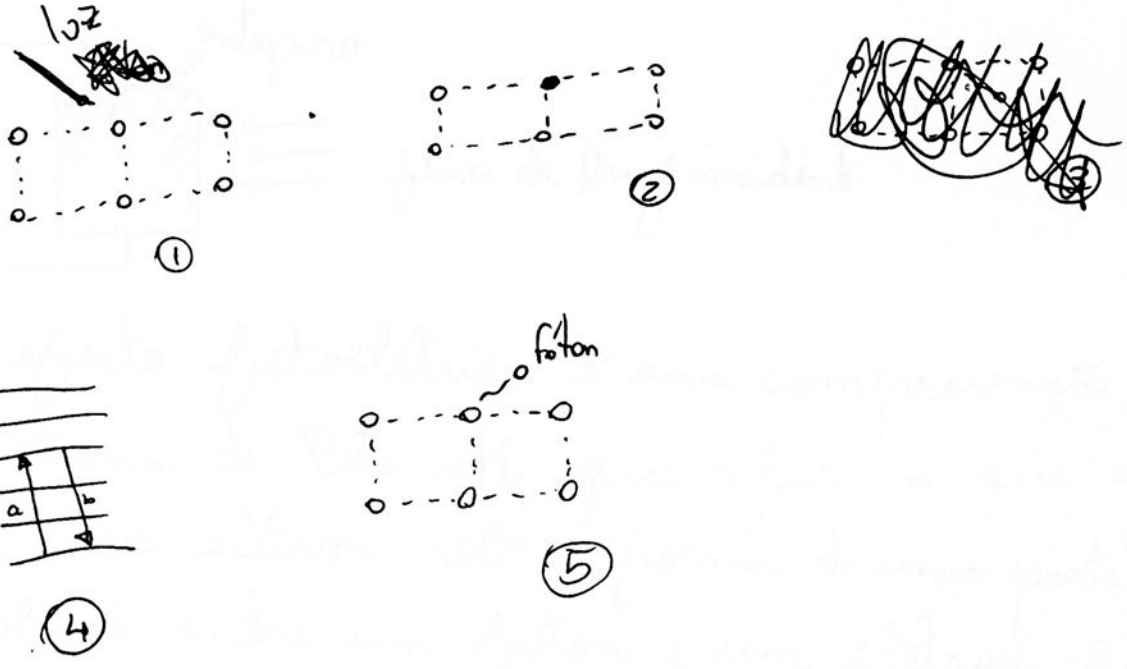
A emissão se dá no momento em que um elétron é arrancado e para isso gasta-se certa energia.

$K_{máx} = h\nu - w_0$ (Equação Fotoelétrica)

h → cte de Planck; ν → frequência de onda; w_0 → trabalho

Nome: Fr Nº. 1 Data 25/09/02

I) De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos Fenômenos envolvidos no Efeito Fotoelétrico. Explique-os.



① A figura apresenta a estrutura de um sólido onde as "bolinhas" representam os átomos. Os átomos desse sólido são bombardeados com luz, que possui fótons.

② Um dos fótons da radiação interage com a estrutura eletrônica do átomo da rede

③ Quando interage com o elétron, a radiação faz com que ele "salte" para um nível quântico de mais alta energia. O elétron absorve a radiação. e aumenta sua energia (a). Logo depois, o elétron "volta" ao seu estado de menor energia (5).

⑤ Ao voltar, o elétron emite um fóton que contem a qtde. de energia que ele tinha absorvido antes.

Nome: G1 Nº.____ Data 25/09/2002

I) De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos Fenômenos envolvidos no Efeito Fotoelétrico. Explique-os.



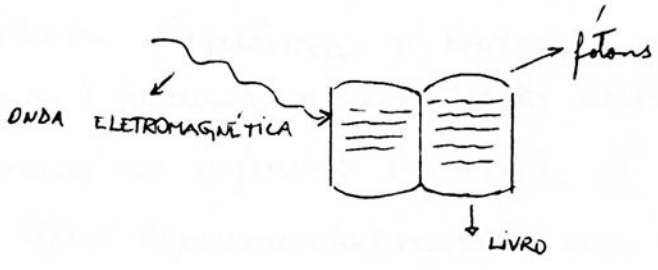
O efeito fotoelétrico é uma comprovação empíri
da teoria de Planck, que afirma que a luz e
gl um elétron sob a forma de uma partícula (fót
colisão entre um fóton e um elétron faz com
e esse elétron seja expulso do material onde esta-
sido.

Nome: K Nº. -- Data 25/09/02

I) De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos Fenômenos envolvidos no Efeito Fotoelétrico. Explique-os.

Na minha opinião, o efeito fotoelétrico é mais ou menos o seguinte:

Temos um material qualquer, no qual incide-se uma onda eletromagnética (Veja o esquema):

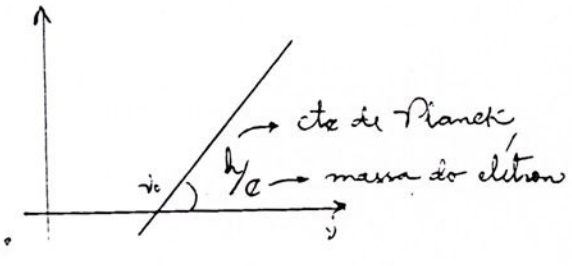


Com isso, o material absorve elétrons e emite fótons, onde, a partir deles, podemos ver, enxergar o mesmo. (onde ocorre o efeito)

A equação do efeito fotoelétrico é a seguinte:

$$K_{MÁX.} = h\nu - w_0 \qquad \text{(dependente da energia)}$$

O efeito fotoelétrico obedece a seguinte regra: a baixo de uma certa frequência (conhecida como frequência crítica ν_0) o efeito fotoelétrico deixa de ocorres. Só ocorre acima desta frequência crítica. Podemos observar o gráfico:



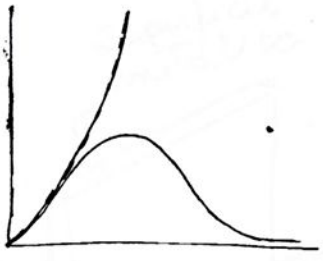
O "principal" que devemos compreender é que o efeito fotoelétrico não depende da intensidade da onda eletromagnética e sim da frequência que a mesma possui

→

PRÉ-TESTE - EFEITO FOTOELÉTRICO
FC/UNESP/BAURU - DISCIPLINA - ESTRUTURAS DA MATÉRIA I (2º SEM/2002)

Nome: M Nº ____ Data 25/09/02

I) De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos Fenômenos envolvidos no Efeito Fotoelétrico. Explique-os.

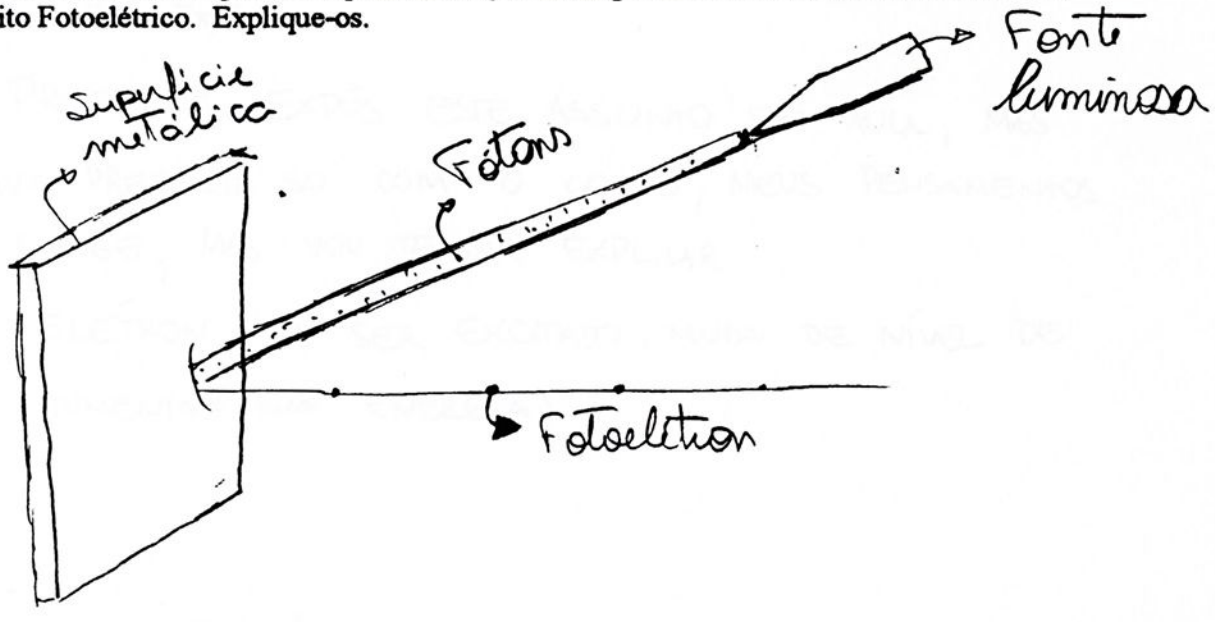


Segundo a teoria de ..... (esqueci o nome dele), a energia ~~total~~ média para retirar um elétron de uma superfície dependia da frequência ν, isto é, quando a frequência ν tendia a zero ($\nu \to 0$), $\bar{E}$ (energia total média) tenderia a um certo valor. E quando esta frequência tendia ao infinito ($\nu \to \infty$), $\bar{E}$ tenderia a zero. (parte pontilhada)

Mas experimentalmente, viu-se que isto não acontecia (linha contínua do gráfico). Então, concluiu-se que $K_{máx} = h\nu - w_0$ onde $h\nu$ é a energia máxima para retirar um elétron e w é o trabalho máximo para retirar um elétron.

Nome: O Nº: Data 25/09/2002

I) De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos Fenômenos envolvidos no Efeito Fotoelétrico. Explique-os.



Os fótons chegam com uma certa energia proporcional à frequência de radiação e atingem os elétrons livres na superfície metálica, se o fóton atinge o elétron com energia suficiente, o elétron "escapa" da superfície metálica.

Nome: R Nº. ____ Data 25/09/02

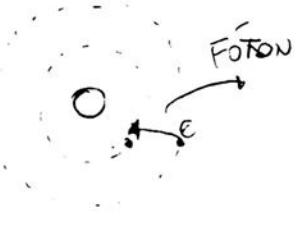
I) De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos Fenômenos envolvidos no Efeito Fotoelétrico. Explique-os.

O PROFESSOR EXPÔS ESTE ASSUNTO EM AULA, MAS EU ESTAVA PRESENTE SÓ COM O CORPO, MEUS PENSAMENTOS ESTAVAM LONGE, MAS VOU TENTAR EXPLICAR.

UM ELÉTRON, AO SER EXCITADO, MUDA DE NÍVEL DE ENERGIA (AUMENTA SUA ENERGIA)



AO RETORNAR A SUA CAMADA DE ORIGEM, O ELÉTRON EMITE LUZ (FÓTON)



Nome: Rt Nº: Data 25/09/02

I) De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos Fenômenos envolvidos no Efeito Fotoelétrico. Explique-os.

Efeito Fotoelétrico é o bombardeamento de luz (radiação) onde os elétrons são captados e sentido dos através de uma diferença de potencial ligado a esse aparelho (experimento).

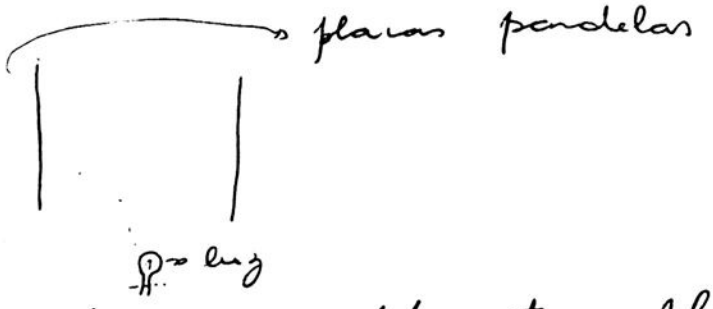
ANEXO IV - QUESTIONÁRIO ABERTO, "DEPOIS" DA SIMULAÇÃO

QUESTIONÁRIO ABERTO RESPONDIDO PELOS ALUNOS NO DIA 01 DE OUTUBRO DE 2002, "DEPOIS" DO TRABALHO COM A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA O EFEITO FOTOELÉTRICO

A

Data: 01/10/02

- De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos fenômenos envolvidos e explique-os:



É colocada uma ddp entre as placas paralelas, incidindo luz sobre uma placa, nota-se que o elétron é liberado ao atingir a 1ª placa e, caso ocorra o efeito fotoelétrico, este elétron vai ao encontro da segunda placa.

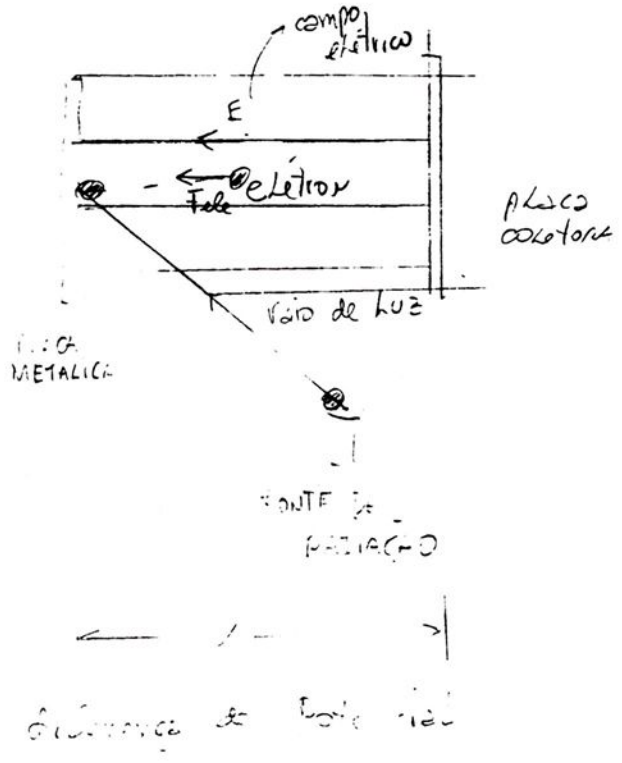
À determinadas frequências, as diferenças de potencial aplicada às placas variam, ou seja, uma ddp não pode ser constante para qualquer comprimento de onda.

Em algumas ddp o elétron nem é liberado. Isto significa que o efeito fotoelétrico nem ocorreu. Talvez este fenômeno deve-se ao fato de que faltou alguma energia mínima para que ele se deslocasse até a outra placa.

Um elétron pode retornar à 1ª placa quando a polaridade entre as placas muda também. Isto, na verdade, eu li no livro.

Ad 01/10/2002

DE ACORDO COM O QUE VOCÊ APRENDEU FAÇA UM DIAGRAMA DOS FENÔMENOS ENVOLVIDOS E EXPLIQUE-OS.



Fótons são emitidos a partir da fonte de radiação atingem a placa metálica e arrancam elétrons desta placa que se dirigirão até a placa coletora. Entre estas placas existe uma diferença de potencial. Assim, surgirá uma corrente elétrica. Um determinado valor de potencial faz com que o elétron não atinja a placa coletora fazendo com que não exista corrente elétrica. Este potencial é chamado de potencial de corte V_0.

O fato de a luz arrancar elétrons da placa metálica não pode ser explicado pela teoria ondulatória de luz. Evidencia-se a coerência da natureza corpuscular da Luz [illegible] ocorrer uma colisão entre o fotón e o

Ad (Cont.) 01/10/02

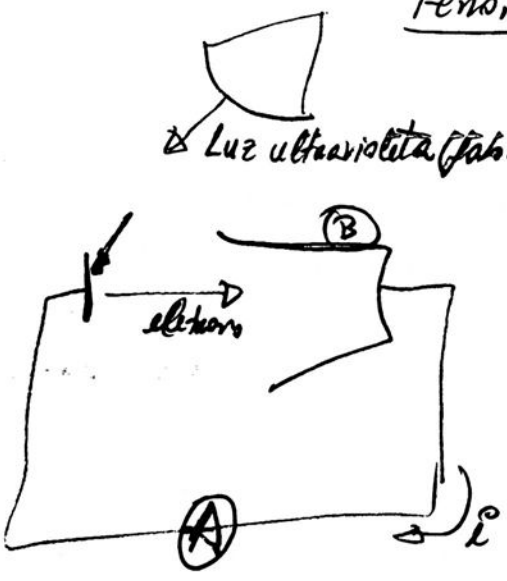
elétron.

O Efeito fotoelétrico tem muitas aplicações em dispositivos eletrônicos: alarmes, portas de lectras de metais, etc.

Fenomeno Fotoelétrico

Ag 01/10/02

173



Quando a luz ultra-violeta (fonte de fotons) atinge uma placa de metal (A), eletrons são emitidos pela placa (A) e capitados pelo receptor (B). Surge então uma corrente que é identificada pelo experimento.

Esse experimento prova o efeito "corpuscular" da luz.

$K_{max} = h\nu - w_0$

Se criarmos um campo elétrico contrário ao percurso do eletron aumentar a voltagem V até que nenhum eletron possa ser capitado por (B). Isso significa que K_{max} foi anulado. K_{max} é a energia cinética do eletron. $h\nu$ é a energia fornecida pelo foton e w_0 é o trabalho (energia necessária p/ arrancar o eletron da materia.

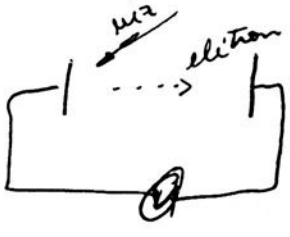
Se $K_{max} = 0$ (Energia cinetica "zero"), a Energia recebida pela radiação (foton) equivale a W_0 e o átomo não é emitido. (vide)

E 01/10/02

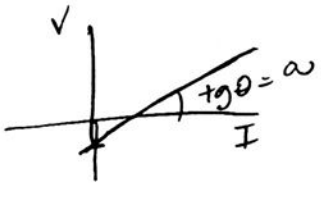
De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos fenômenos envolvidos e explique-os.

O efeito fotoelétrico é o fenômeno que envolve a luz interagindo com a matéria.

Nesse fenômeno, a luz é emitida sobre um material e empurra o elétron desse material. Se estiver ligado num circuito com um voltímetro, notar-se-á uma diferença de potencial gerada pela corrente dos elétrons que saíram do material



O potencial de corte é aquele que quando colocado em sentido oposto à corrente fotoelétrica numa certa intensidade faz essa corrente parar.



$\frac{a}{e} = h$

O efeito fotoelétrico é um fenômeno quântico, pois sua energia não depende da intensidade da luz emitida, mas sim da frequência

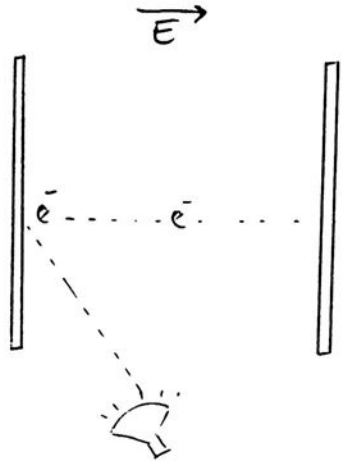
$E = h\nu$

F

Licenciatura Plena em Física

01/10/2002

De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos fenômenos envolvidos e explique-os. (Efeito fotoelétrico)



A aplicação de luz ultravioleta em uma placa, onde com uma certa voltagem, consegue arrancar um elétron da placa (este é o efeito fotoelétrico). Este(s) elétron(s) em movimento gram corrente elétrica.

Mas é preciso observar que é necessário uma certa energia mínima, para arrancar este elétron da placa.

Também observa-se que há um potencial de corte, que é o potencial limite capaz de gerar corrente elétrica, ou seja, potencial em que o elétron não fica preso no campo elétrico formado entre as duas placas.

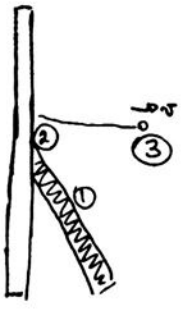
Não sei se estes conceitos que descrevi acima estão absolutamente corretos, mas estou consciente que trabalhar com a simulação do E.E. no computador me ajudou muito a conseguir imaginar como ocorre o efeito. Porque este é um assunto totalmente diferente e fica difícil tentar imaginar algo que não se pode ver.

(F) (CONT.)

Seria muito bom, se tivéssemos feito esta experiência ~~depois~~ imediatamente, após a aula expositiva sobre o assunto.

Nome: FF Data: 01/10/02 178

De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos fenômenos envolvidos e explique-os.

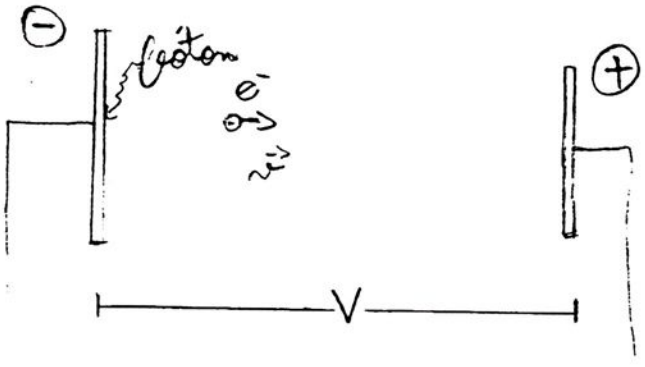


① Ao incidir luz sobre um material, um metal, por exemplo, os fótons que constituem esse raio de luz doam energia para os elétrons mais superficiais desse metal.

② Ao receber essa quantidade de energia, os elétrons são ejetados do material com uma dada energia cinética $K_{máx} = h\nu - w_0$. A energia cinética é inversamente proporcional ao λ da luz e deve ser maior do que w_0 para que haja a ejeção (movimento) do elétron ③.

Nome: Gl 01/10/02

De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos fenômenos envolvidos no Efeito Fotoelétrico e explique-os:



1º passo: um fóton colide com um elétron e faz com que esse elétron seja arrancado do material onde a luz incide, se a energia transmitida pelo fóton for igual ou superior à função-trabalho do material

2º passo: o elétron arrancado vai de encontro à placa receptora (positiva). Para chegar até ele, o elétron deve ter energia cinética suficiente para vencer a d.d.p. entre as placas

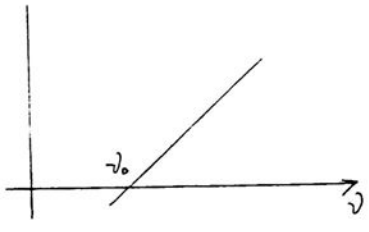
* De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos fenômenos envolvidos e explique-os:

O efeito fotoelétrico é mais ou menos o seguinte:

Quando ondas de luz incidem num objeto qualquer, este emitirá fótons; o que nos possibilita vermos o mesmo.

Os fótons precisam ter uma energia inicial para com esta se desprenderem do objeto.

Podemos mencionar que existe uma frequência limite (ν_0), onde acima da qual ocorre o efeito e abaixo da qual não ocorre o efeito fotoelétrico:



Não importa a intensidade da luz, o importante é a frequência, por exemplo: pode-se ter uma intensidade de luz altíssima, se a frequência for baixa, não ocorrerá o efeito fotoelétrico.

A equação do efeito fotoelétrico é a seguinte:

$$K_{MÁX} = \underbrace{h\nu}_{\text{Energia}} - \underbrace{w_0}_{\text{frequência}}$$

Em relação ao programa de simulação utilizado para melhor compreensão do fenômeno, percebi que para bons resultados precisei utilizar uma boa precisão nos dados (trabalhei com 2 casas decimais)

01/10/02

M

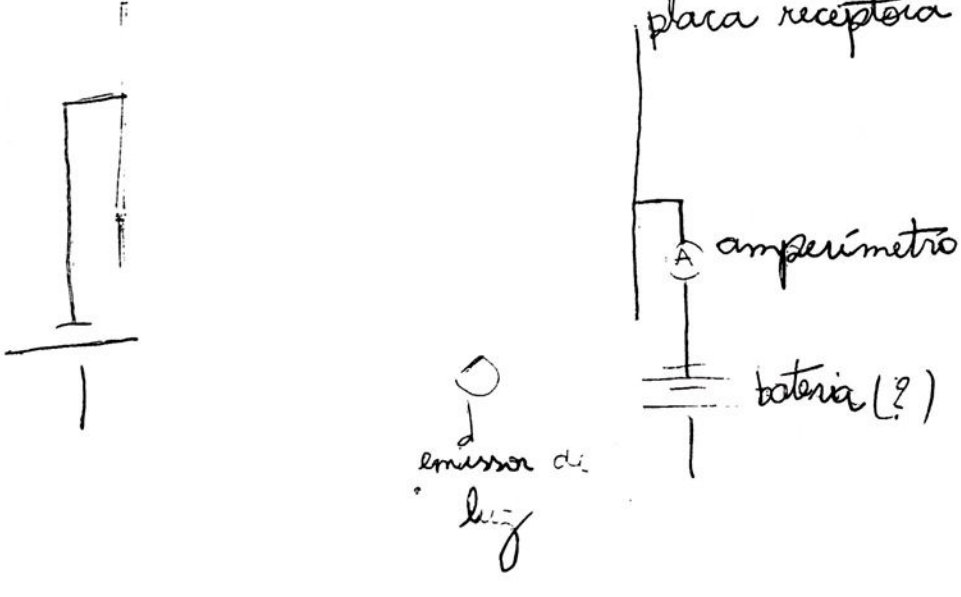
↳ De acordo com o que você aprendeu faça um diagrama do fenômeno envolvidos no efeito fotoelétrico e explique-os.

→ Para que ocorra o Efeito Fotoelétrico é necessário que um feixe de luz incida sobre uma superfície metálica onde ocorre uma diferença de potencial. Se essa voltagem for muito alta não ocorrerá a emissão de fótons.

A intensidade da luz só influenciará na corrente que será verificada quando os elétrons "rolarem" na outra superfície.

Quanto maior a luminosidade, maior a corrente observada no amperímetro.

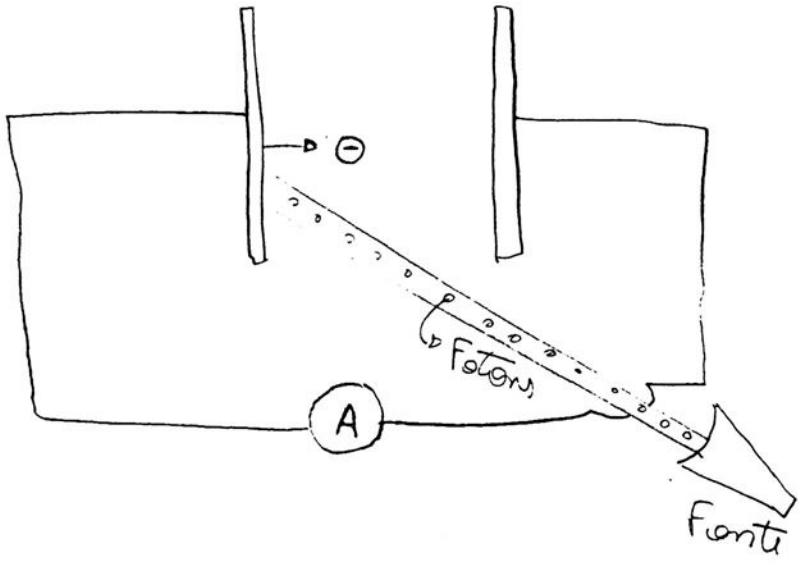
Foi observado também que quanto maior a ddp, menor o comprimento de onda necessário para ocorrer o Efeito Fotoelétrico



nome:

Data: 01/10/02

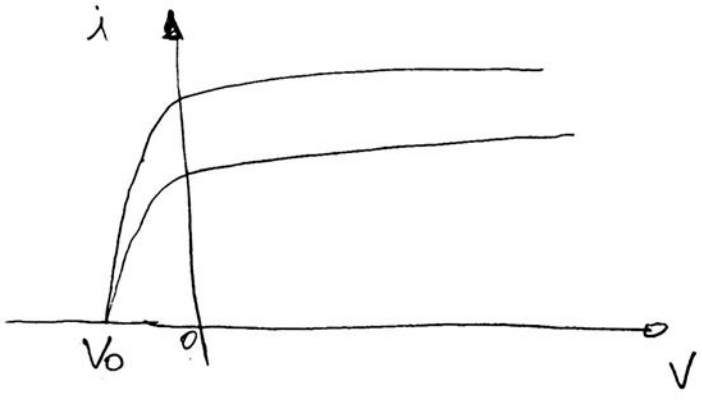
De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos fenômenos envolvidos no EF, e explique-os.



A fonte de luz emite os fótons com uma certa frequência sobre uma superfície de algum metal. Os fótons possuem uma alta energia que depende apenas da frequência de radiação, cuja energia deve ser suficiente para que o fotoelétron escape do metal.

Entre as placas existe uma diferença de potencial, ddp, um campo elétrico entre as placas.

Para que o fotoelétron atinja a outra placa e que seja detectado pelo amperímetro é necessário um potencial V_0 (potencial de corte) limite, pois se não atingir-lo o fotoelétron não atinge a outra placa e não é detectado pelo amperímetro.



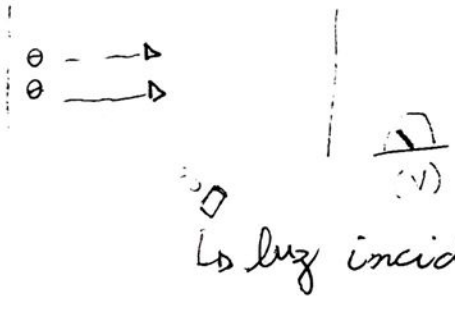
Se o potencial é negativo, o fotoelétron é acelerado até a outra placa, produzindo corrente.

Se o potencial é positivo, o fotoelétron é desacelerado, dificultando sua passagem para a outra placa.

No entanto o efeito fotoelétrico ocorre quando há o escape de fotoelétron, ... tão mesmo que não há a passagem do fotoelétron para a outra placa, há o efeito fotoelétrico.

Nome = Rt
Data = 01/10/02

De acordo com o que você aprendeu, faça um diagrama dos fenômenos envolvidos no E.F. e explique-os:



Há emissão de luz na placa de metal e dependendo do comprimento da placa e do potencial colocado há liberação de elétrons e esses elétrons vão para a segunda placa onde são captados.

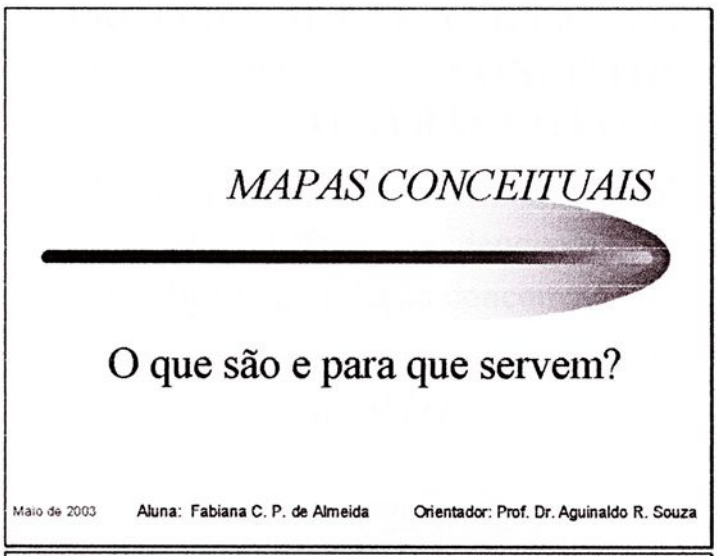
O [illegible] laboratório foi [illegible] matéria de física [illegible] que acontece no efeito fotoelétrico.

Há elétrons que não chegam a atingir a segunda placa, pois existe um potencial chamado potencial de corte que é o potencial mínimo necessário para que o elétron não atinja a segunda placa.

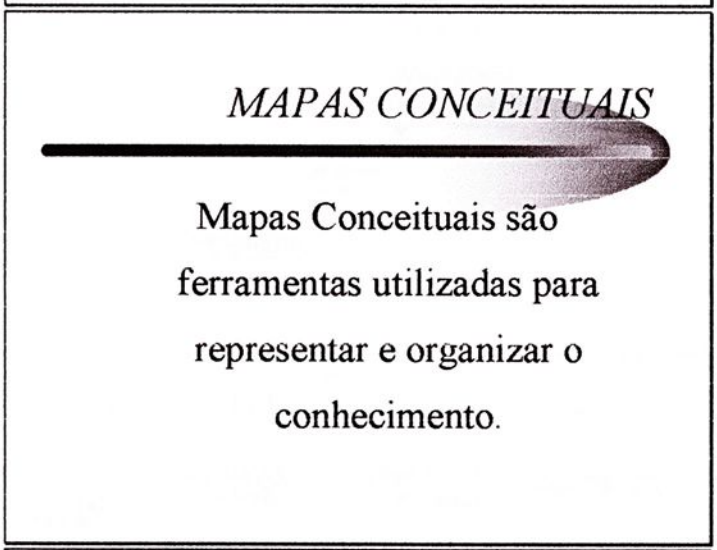
ANEXO V – APRESENTAÇÃO TEORIA MAPAS CONCEITUAIS

Apresentação Slides: "Mapas Conceituais: o que são e para que servem?"

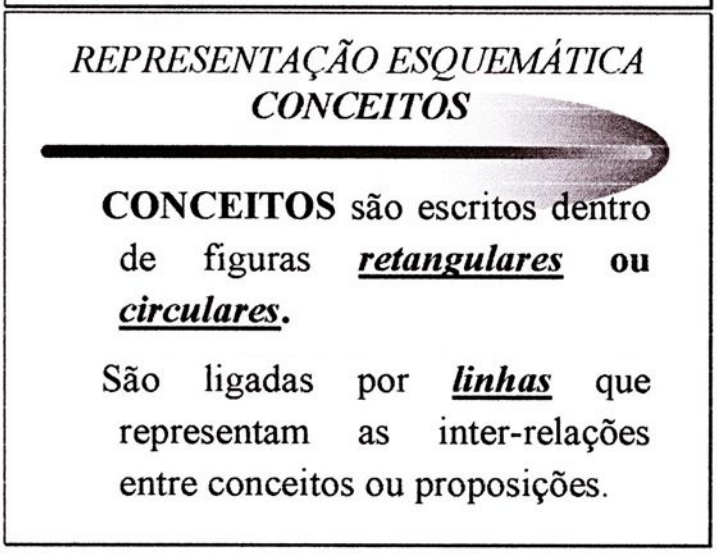
Slide 1



Slide 2



Slide 3



Slide 4

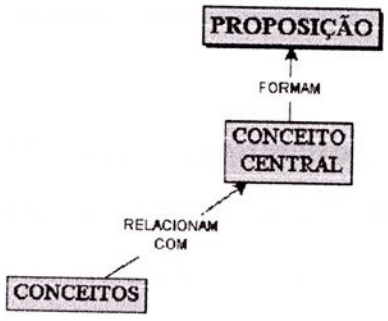
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA
PROPOSIÇÕES

PROPOSIÇÕES são compostas por pelo menos dois **CONCEITOS** ligados por **PALAVRAS-CHAVES**

Formam "o estado do significado" (Novak, 1988), evidenciando o significado da relação conceitual.

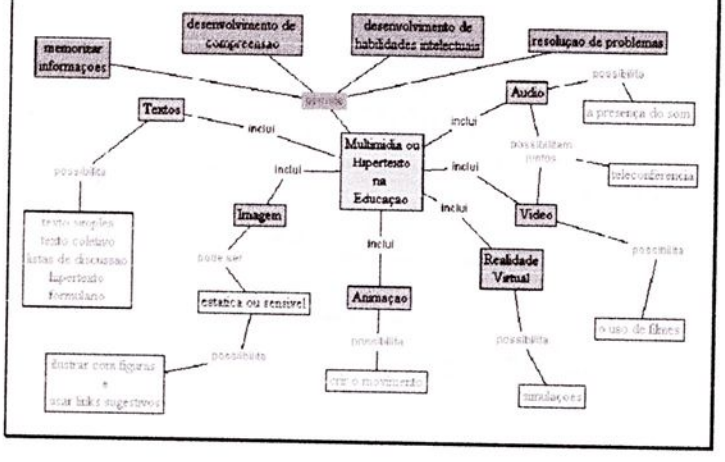
Slide 5

EXEMPLO

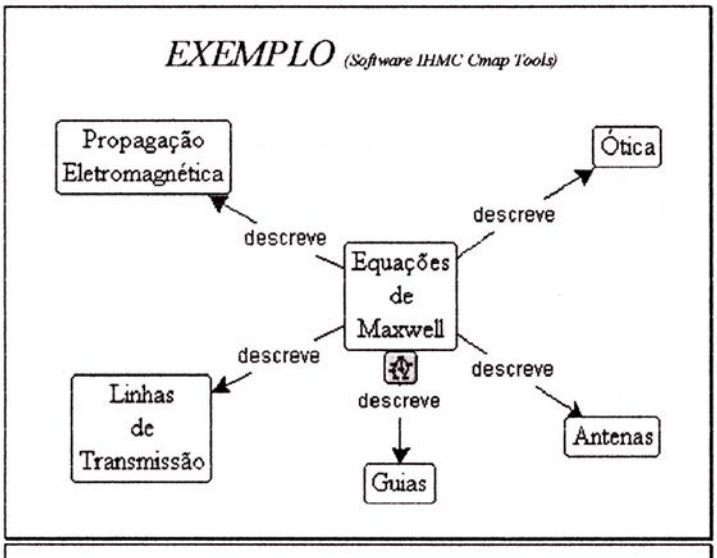


Slide 6

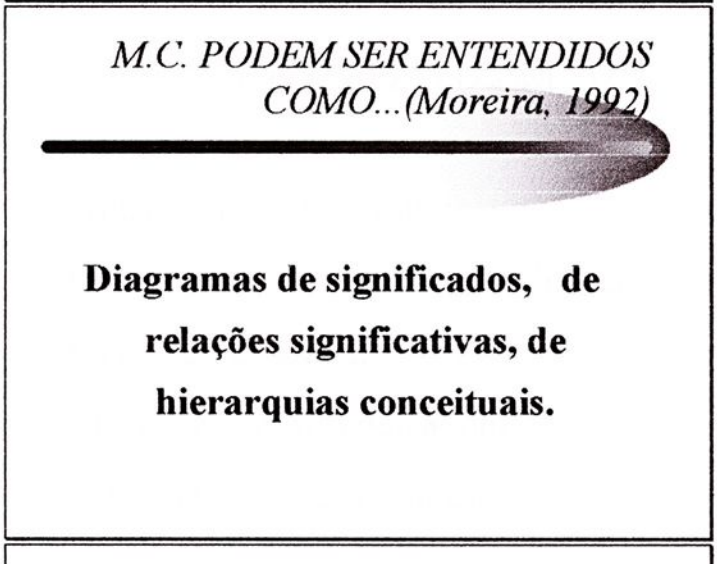
EXEMPLO *(Isolda - Teleducação/PGIE/UFRGS - 2000/01)*



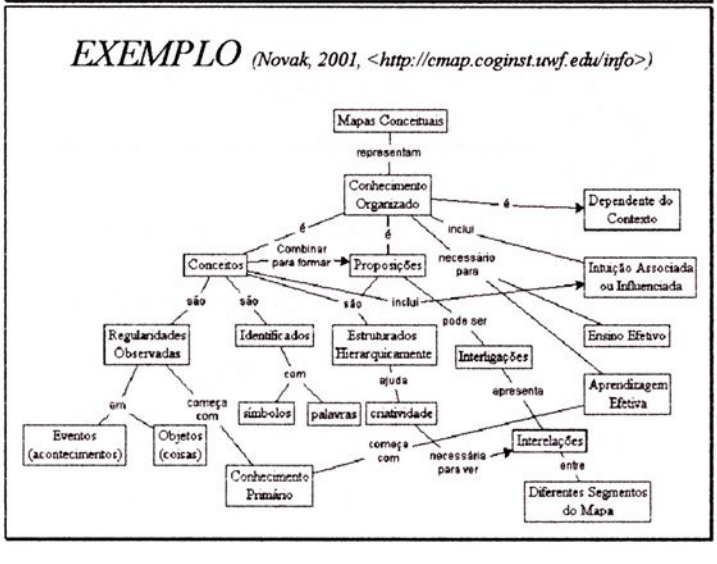
Slide 7



Slide 8



Slide 9



Slide 10

ORIGEM

- Década de 70 pelo professor **JOSEPH D. NOVAK** e seus alunos de pós-graduação da Universidade de Cornell. Trabalhavam com entrevistas clínicas com crianças.

Slide 11

PARA QUE SERVEM OS MC's?

Podem ser usados como:

- Instrumento de Análise do Currículo;
- Técnica Didática;
- Recurso de Aprendizagem;
- Instrumento de Avaliação.

Slide 12

*O QUE "**NÃO SÃO**" OS MC's?*

Não devemos confundir MC's com:

- Organogramas (representam hierarquia e poder);
- Diagramas de Fluxo (representam tempo e direção).

Slide 13

*O QUE "**SÃO**" OS MC's?*

"*Diagramas bidimensionais* que procuram mostrar relações hierárquicas entre conceitos de uma disciplina e que derivam sua existência da própria estrutura conceitual da disciplina".

Slide 14

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

- **Teoria cognitiva de aprendizagem de David Ausubel**
- **Aprendizagem Significativa**

Slide 15

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA
Aprendizagem Significativa

- Assimilação de **conceitos ou proposições** potencialmente significativas através da interação destes com os conceitos **subsunçores** que compreendem a **estrutura de conhecimento específica do aluno.**

Slide 16

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA
Aprendizagem Significativa

- **Processo dinâmico** – reestruturação da estrutura cognitiva.
- **Organizadores Prévios** servem de **âncora** para a nova aprendizagem.

Slide 17

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA
Aprendizagem Significativa

- **Ausubel** destaca que no processo instrucional é necessário considerar a **estrutura cognitiva** do aprendiz **no momento da aprendizagem**.

Slide 18

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA
Aprendizagem Significativa

"...o fator mais importante influenciando na aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; determine isso e ensine-o de acordo" (Ausubel, 1980).

ANEXO VI – APOSTILA SOBRE MAPAS CONCEITUAIS



Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho

Faculdade de Ciências – Unesp/Bauru

Construindo Mapas Conceituais

Profª. Fabiana C. P. de Almeida

Prof. Dr. Aguinaldo Robinson de Souza

Maio/2003

Índice

Parte I[1]

Noções Básicas sobre o CMap Tools.....pag. 1

Referências.....pag. 28

Parte II

O que são Mapas Conceituais?.....pag. 29

Referências.....pag. 37

[1] A Parte I foi impressa da Internet em op.cit. KONRATH, Mary Lúcia Pedroso, 2003.

Referência Bibliográfica

Institute for Human and Machine Cognition, www.coginst.uwf.edu/about/index.html Acesso em: 04/2002.

Institute for Human and Machine Cognition. **Tutorial: Learn how to make your own maps** (IHMC Concept Map Software), (2001). University of West Florida, Institute for Human and Machine Cognition, Florida, EUA. Disponível em: http://cmap.coginst.uwf.edu/ Consultado em 05/2003.

KONRATH, Mary Lúcia Pedroso. **Noções Básicas sobre CMap Tools** (software desenvolvido pelo Intstituto for Human and Machine Cognition da The University of West Florida). Disponível em: http://penta2.ufrgs.br/edutools/tutcmaps/tutindicecmap.htm Consultado em 05/2003.

Parte II

O que são Mapas Conceituais?

O que são Mapas Conceituais?

1. Introdução

Mapas Conceituais são ferramentas utilizadas para representar e organizar o conhecimento.

Segundo Moreira (1992, p.2), podemos entender mapas conceituais como "diagramas bidimensionais que procuram mostrar relações hierárquicas entre conceitos de uma disciplina e que derivam sua existência da própria estrutura conceitual da disciplina".

Na representação esquemática de um mapa conceitual, os conceitos estão escritos dentro de figuras retangulares ou circulares. Estas figuras são ligadas por linhas que representam as inter-relações entre conceitos ou proposições.

As proposições são compostas por pelo menos dois conceitos ligados por palavras-chave escritos sobre as linhas que formam "o estado do significado" (Novak, 1988), evidenciando o significado da relação conceitual.

2. A origem dos Mapas Conceituais

Os Mapas Conceituais surgiram na década de 70 pelo professor Joseph D. Novak e seus alunos de pós-graduação da Universidade de Cornell. Trabalhavam com entrevistas clínicas com crianças.

3. Para que servem?

Os Mapas Conceituais podem ser usados como um instrumento de análise do currículo, técnica didática, recurso de aprendizagem e também como um instrumento de avaliação.

Como instrumento de análise do currículo é possível construir um mapa que represente desde uma aula para uma dada disciplina até curso inteiro. Isto facilita a compreensão pelo organizador do currículo como conteúdo curricular e conteúdo instrumental (função de veículo para aprendizagem).

Como técnica didática, podemos reconhecê-los como técnica de ensino pois podem ser usados para representação das relações de conceitos a serem ensinados e consequentemente como facilitador da aprendizagem dessas estruturas conceituais. E, os alunos ao construirem seus mapas conceituais, como técnicas para analisar textos de livros, experimentos de laboratório, e outros, esta ferramenta servirá como recurso de aprendizagem.

Não obstante, o professor poderá utilizar desta técnica para visualizar a organização conceitual que o aluno atribuiu a um dado conhecimento.



4. O que não são?

Os mapas conceituais não devem ser confundido com Organogramas, que representam uma hierarquia e poder, nem com Diagramas de Fluxo, que representam um determinado tempo e direção.

5. Como podemos definir um mapa conceitual?

Podemos considerá-los, resumidamente como diagramas de significados, de relações significativas, de hierarquias conceituais.

6. Fundamentação teórica

Está fundamentado na teoria Cognitiva de Aprendizagem de David Ausubel (Ausubel et al., 1980; Moreira e Masini, 1982) - Aprendizagem Significativa.

Através desta teoria, para que a aprendizagem seje significativa, deve ocorrer a assimilação de conceitos ou proposições potencialmente significativas através da interação destes com os conceitos sub-sunçores que compreendem a estrutura de conhecimento específica do aluno.

Este processo é dinâmico, sempre ocorre uma reestruturação da estrutura cognitiva.

Ausubel (1980) considera importante ferramenta os Organizadores Prévios, pois estes servirão de âncora para a nova aprendizagem.

Ausubel (1980) destaca que no processo instrucional é necessário considerar a estrutura cognitiva do aprendiz no momento da aprendizagem.

"...o fator mais importante influenciando na aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; determine isso e ensine-o de acordo", (Ausubel, Novak e Hanesian, 1980).

7. Links Interessantes

Através destes links podemos observar algumas formas de utilização de mapas conceituais disponíveis pelo Software IHMC Cmap Tools.

Explicação e Colaboração através de Mapas Conceituais:
http://cmex.coginst.uwf.edu/CMEX/index.html

Representação de Conhecimentos avançados:
http://www.coginst.uwf.edu/STORM-LK/maps/STORMLK/x-kaos-cmap/welcome_to_storm-lk_.html

Ensino a Distância: http://cmap.coginst.uwf.edu/cmaps/MDM2/



8. Exemplos

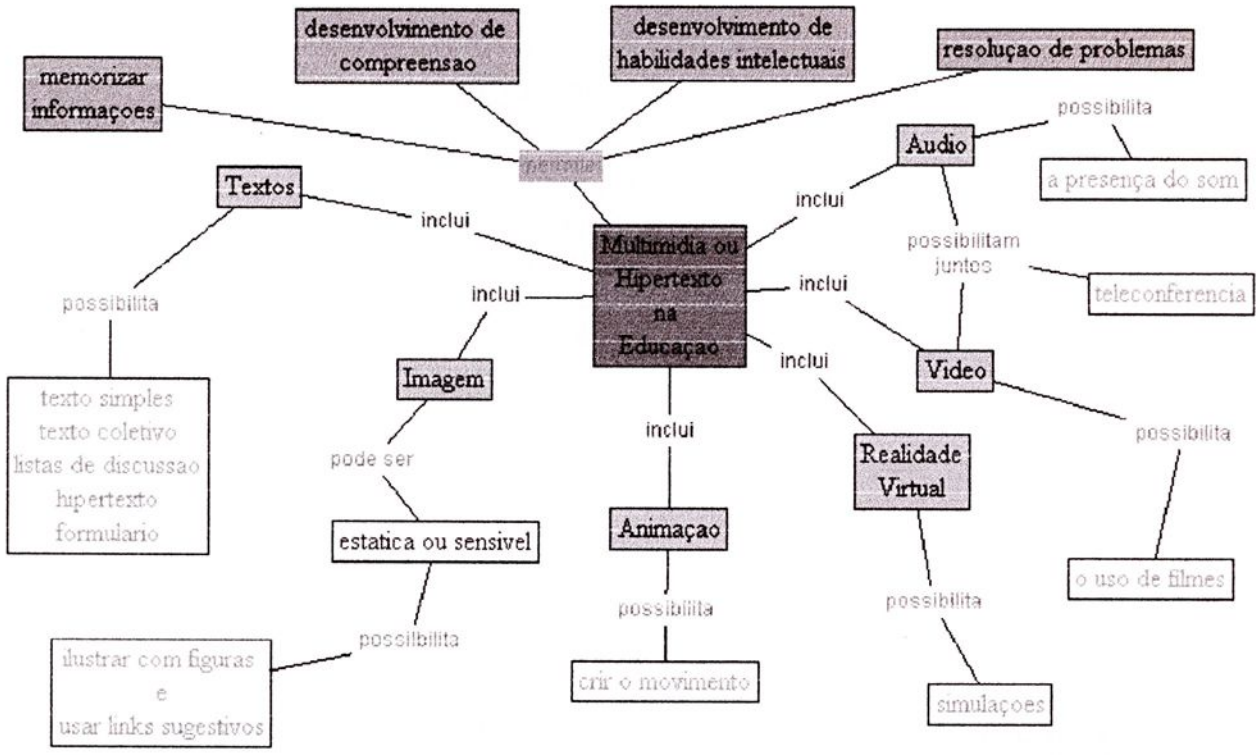


Figura a - Isolda - Teleducação/PGIE/UFRGS - 2000/01. Acesso em 05/2003. Disponível em: http://penta2.ufrgs.br/edutools/mapasconceituais/exem1mapasconceituais.html

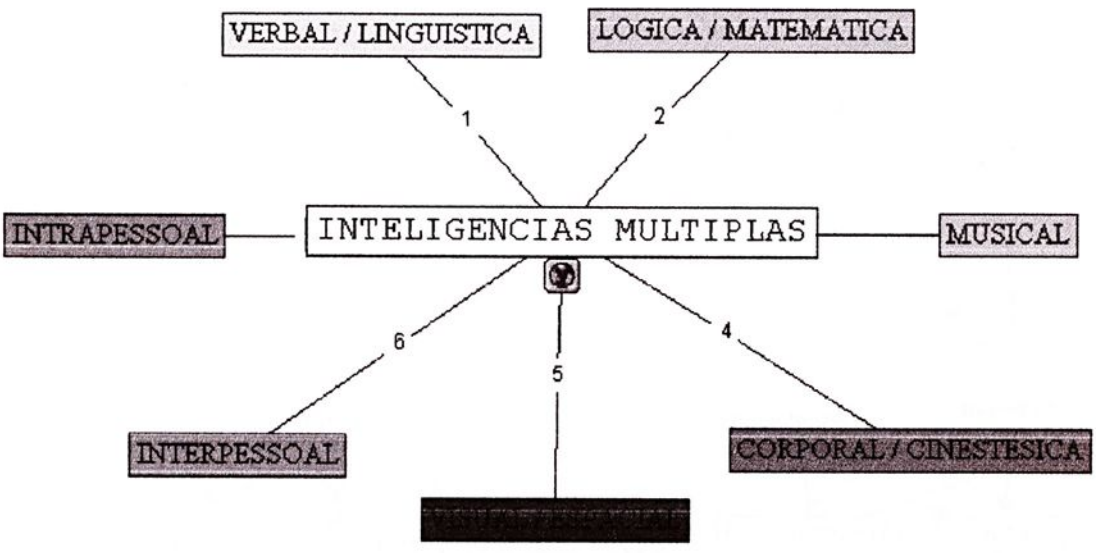


Figura b: Ana Ribeiro - Disciplina Edu3375/Turma C/FACED/UFRGS - 2000/01 Disponível em: http://penta2.ufrgs.br/edutools/mapasconceituais/exemmapasconceituais.html Acesso em: 05/2003.

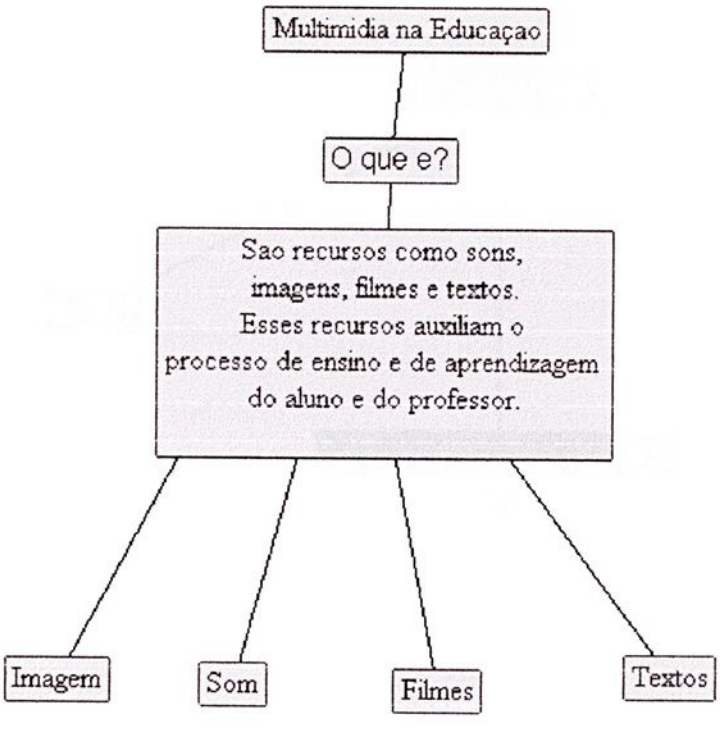


Figura c - Ana Claúdia Siluk - Teleducação/PGIE/UFRGS - 2000/01. Disponível em: http://penta2.ufrgs.br/edutools/mapasconceituais/exem1mapasconceituais.html Acesso em: 05/2003.

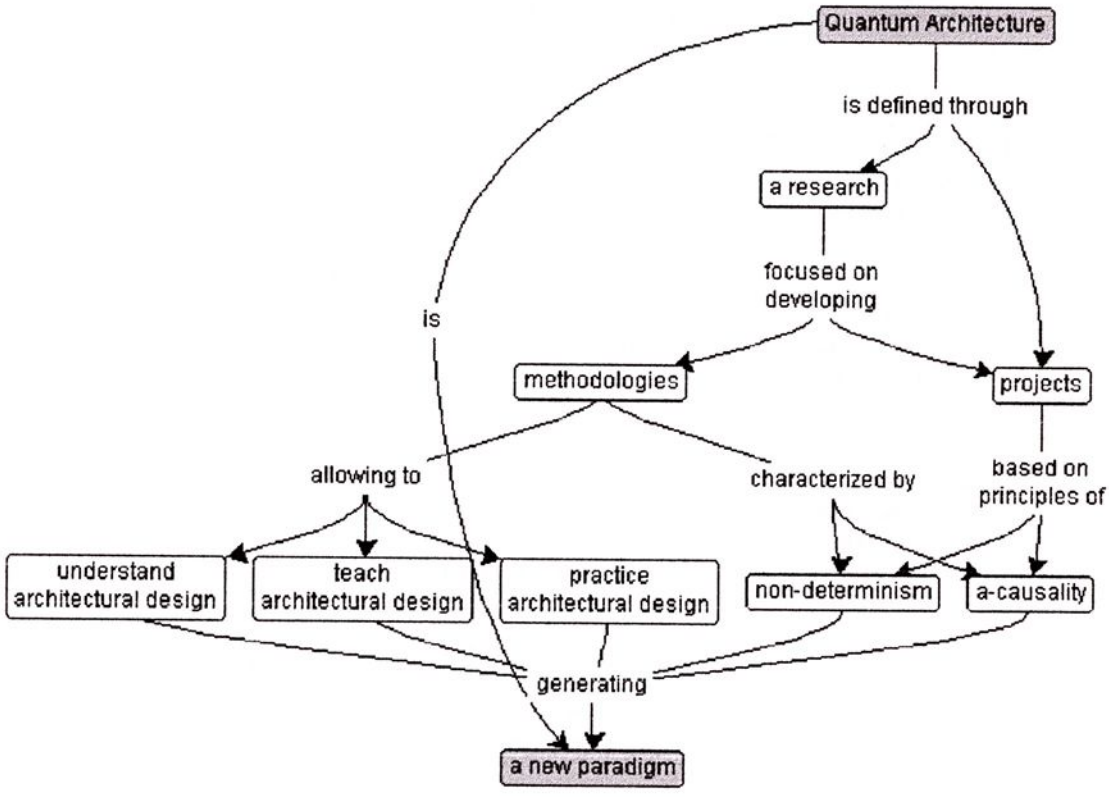


Figura d - Mapa conceitual da Arquitetura Quântica. Disponível no Software IHMC Cmap Tools.

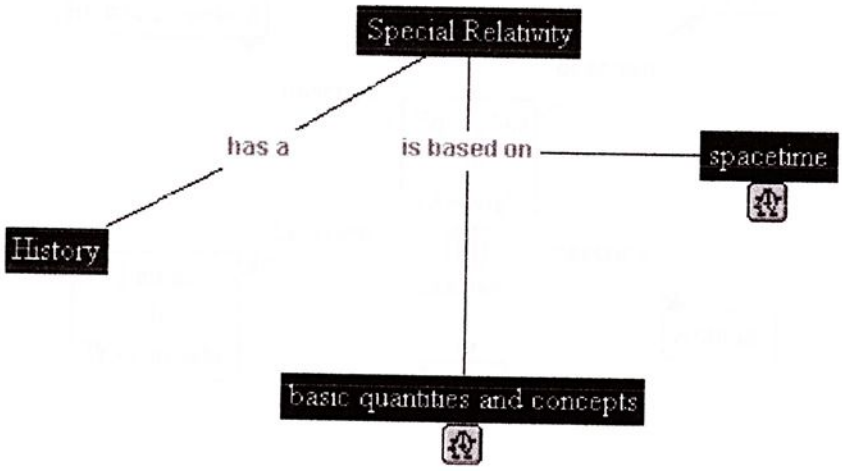


Figura e - Mapa conceitual sobre a Relatividade. Disponível no Software IHMC Cmap Tools.

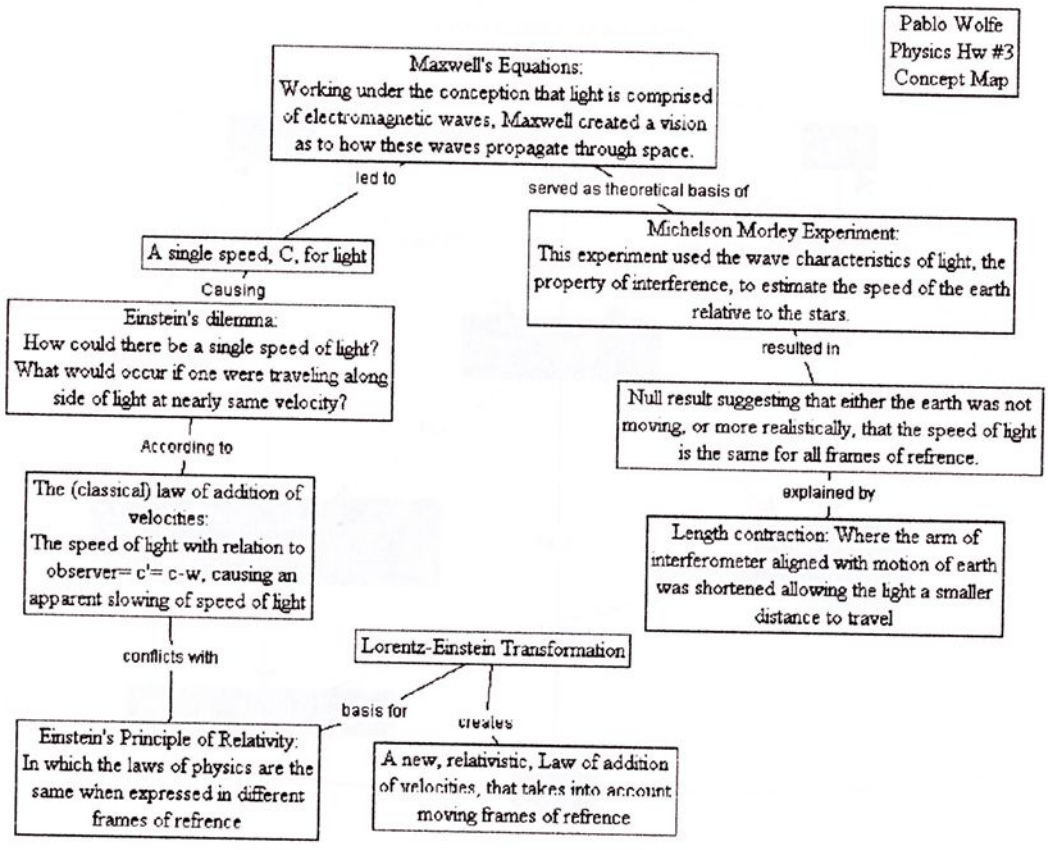


Figura f - Mapa Conceitual sobre Relatividade. Disponível no Software IHMC Cmap Tools.

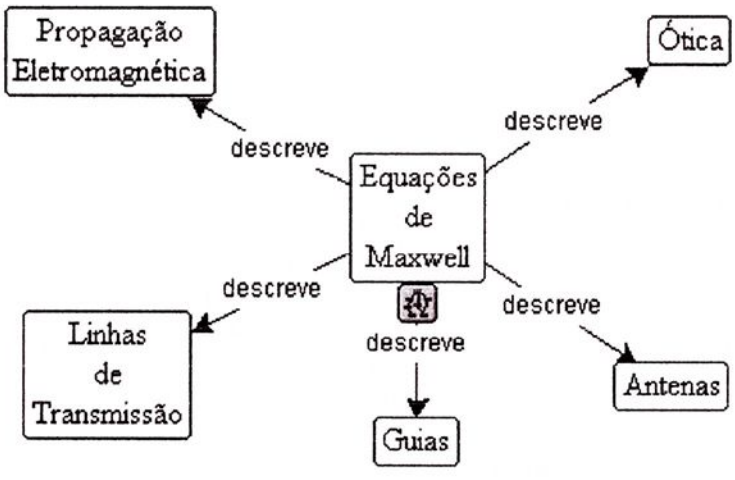


Figura g - Mapa Conceitual sobre as Equações de Maxwell para o Eletromagnetismo. Disponível no Software IHMC Cmap Tools.

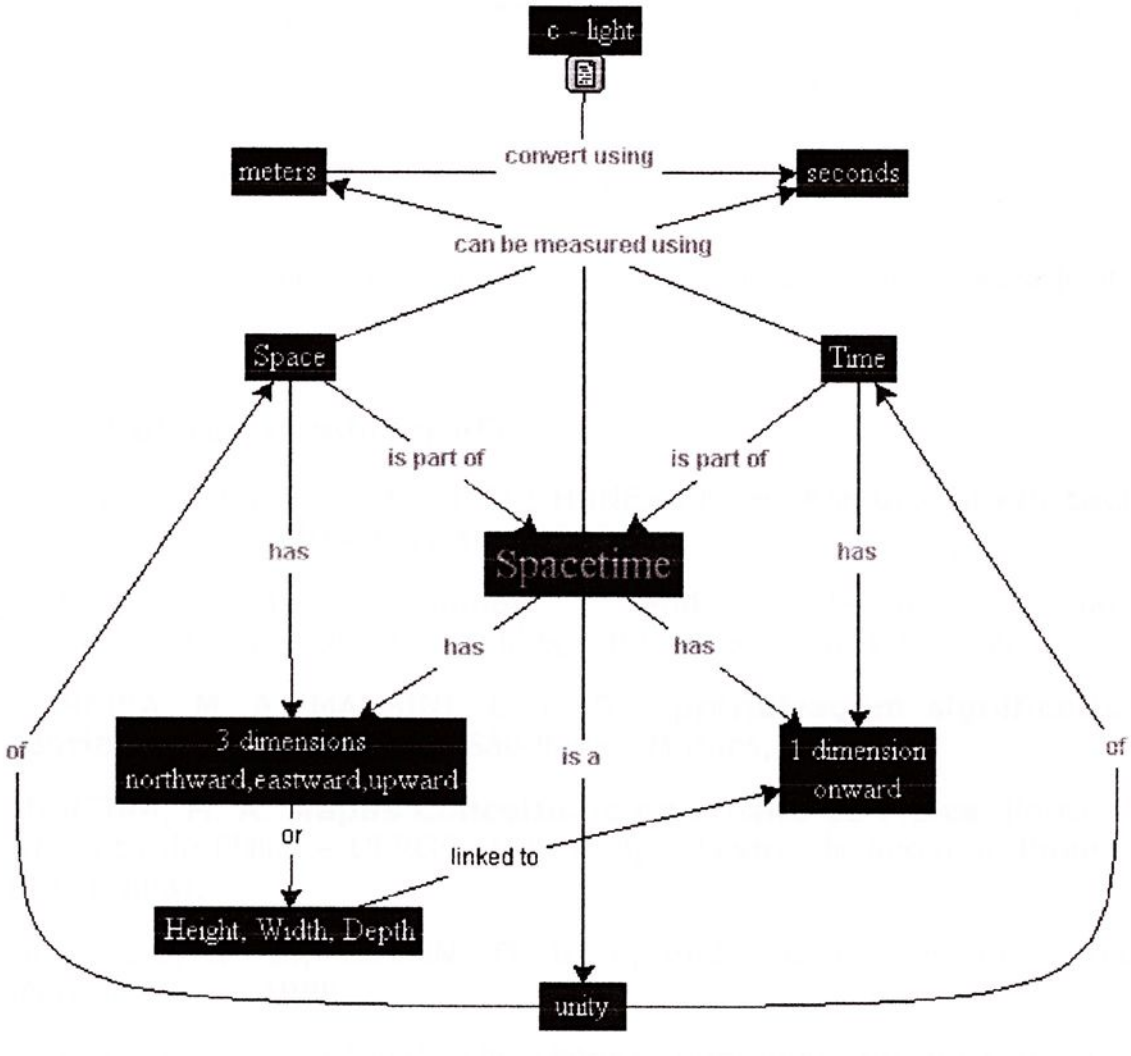


Figura h - Mapa Conceitual sobre Espaço-Tempo na Teoria da Relatividade. Disponível no Software IHMC Cmap Tools.

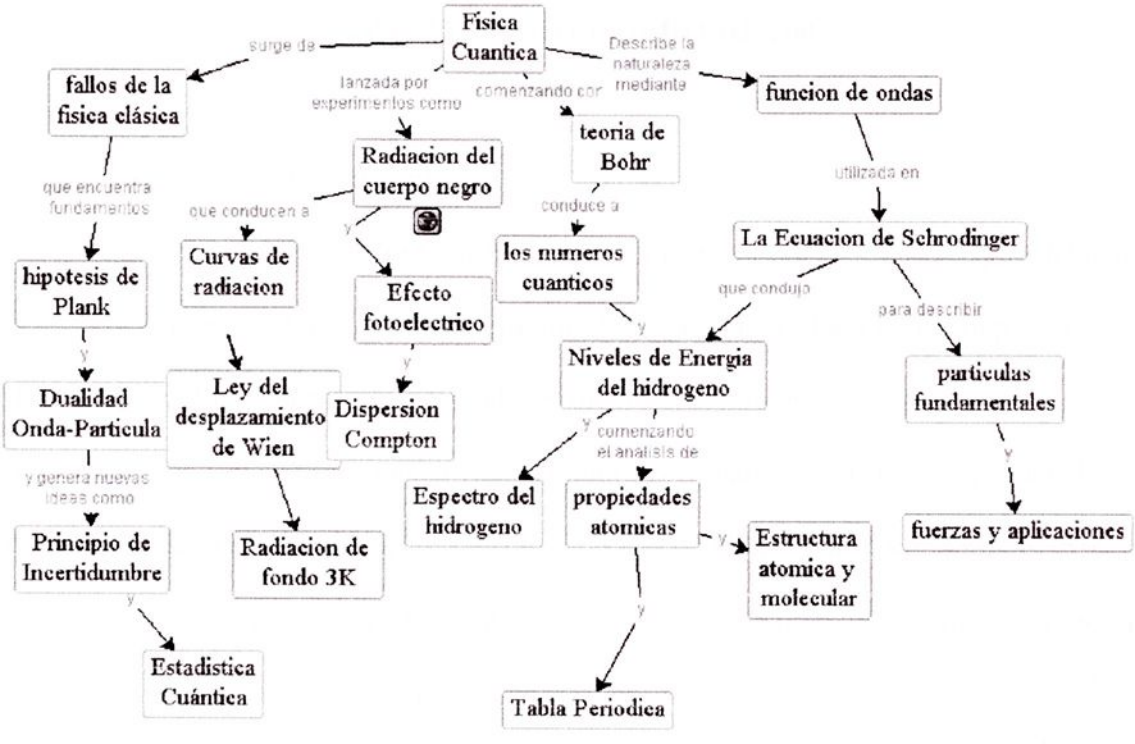


Figura i - Mapa Conceitual sobre Física Quântica. Disponível no Software IHMC Cmap Tools.

9. Referência Bibliográfica

AUSUBEL, David; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

Institute for Human and Machine Cognition, www.coginst.uwf.edu/about/index.html Acesso em: 04/2002.

MOREIRA, M. A; MANSINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes,1982.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais no ensino de Física.** Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 1992. 44p. (Textos de apoio ao Professor de Física, nº3).

NOVAK, J. D. E.; GOWIN, D. B. Aprendendo a aprender. Barcelona: Martínez Roca, 1988.

NOVAK, Joseph D. (2001). The Theory Underlying Concept Maps and How To Construct Them. Disponível em: http://cmap.coginst.uwf.edu/info/ Acesso em: 12/2002.

ANEXO VII - ENTREVISTA COM PROFESSOR DA DISCIPLINA ESTRUTURA DA MATÉRIA I

DATA: 25 DE NOVEMBRO DE 2003

Pesq: "Fale sobre sua formação?"

Prof: "Eu fiz licenciatura em Física, mas a licenciatura no Chile é equivalente ao Bacharelado e Mestrado, tudo em um só. Depois, fiz o doutorado e depois, o pós-doutorado. O curso lá, no Chile, é totalmente diferente daqui, pois o curso se chama Licenciatura, aqui a Licenciatura serve para ser professor, lá não. Lá, a licenciatura é a Graduação, digamos o Bacharelado e o Mestrado junto no mesmo curso. Você faz toda as disciplinas e no fim você faz uma dissertação. Aí você saí com o diploma de Licenciado."

Pesq: " O senhor pode dar aula?"

Prof: "Não. Não é para dar aula. Não tem aula de Pedagogia... Lá, no Chile, tem um curso que eqüivale à Licenciatura daqui, que se chama Pedagogia em Física, daí você estuda para dar aulas. Mas, a Licenciatura (no Chile) é para a pesquisa mesmo."

Pesq: "Então o senhor nunca teve uma matéria voltada para a Licenciatura (do Brasil), como por exemplo, Ensino e Aprendizagem? O senhor nunca teve uma leitura sobre isto, nem no doutorado?"

Prof: "Não, nunca tive, nem no doutorado."

Pesq: "O senhor foi para a parte de pesquisa na parte pura, então, fale um pouco da sua experiência."

Prof.: "Sim. Eu já trabalhei com uma série de coisas, como, o trabalho com ressonância magnética, com polímeros, com sistemas altamente correlacionados e

covalência intermediária e agora, estou trabalhando com os supercondutores. Atualmente, estou estudando os fenômenos de transportes em supercondutores (pesquisa desenvolvida dentro Unesp de Bauru). Estou estudando o que acontece quando, eu tenho um supercondutor e aplico uma corrente de transporte na presença de impurezas. Por exemplo, a presença de impurezas no supercondutor é importante, porque ela segura os vórtices. E, embora segurar os vórtices eu ainda tenha supercondutividade. Quando os vórtices começam a se movimentar, você perde o estado de supercondutor e o interesse é que você mantenha o estado supercondutor para as correntes mais altas que puder e na temperatura mais alta que puder também. Isto porque os supercondutores, em geral, funcionam com baixa corrente e baixa temperatura, mas a maneira que você consegue segurar estes vórtices com as impurezas, você consegue melhorar um pouco a situação."

Pesq: "Fale um pouco da sua aula, como professor de Estrutura da Matéria I e II. O que o senhor espera que os alunos aprendam sobre Mecânica Quântica? Como o senhor considera a sua aula?"

Prof: "Muito boa (risos) ...Os alunos têm que aprender os conceitos básicos de Mecânica Quântica. É justamente aquela transição que tem entre a Mecânica Clássica e a Mecânica Quântica. Foram feitos experimentos, no final do século XIX e início do século XX, que não conseguiam ser explicados pela Mecânica Clássica, então, a idéia é tentar dar uma explicação a todos estes fenômenos. Então, tem uma série de Físicos que se sabe, por exemplo, Einstein, De Broglie, Bohr, Planck e outros, que conseguiram, de alguma maneira, interpretar aqueles experimentos dando uma nova visão à Física, ao que se chamou de Física Quântica, introduzindo novos conceitos. E depois, o que se faz é uma introdução da teoria de Schroedinger, porque as tentativas que foram feitas inicialmente,

como o modelo de Bohr para descrever um átomo, eram todas com base em teorias determinísticas; baseado no Princípio de Incerteza e que as coisas têm que ser probabilísticas; introduzo a teoria de Schroedinger e toda a teoria que tem por traz, que permite descrever corretamente, por exemplo, o átomo de hidrogênio. Tem outros sistemas também, mas, o mais importante é o átomo de hidrogênio."

Pesq: "Neste contexto, como o senhor vê o Efeito Fotoelétrico?"

Prof: "Foram as primeiras confirmações da Teoria de Planck de que havia a quantização de energia e foi a reinterpretação da radiação eletromagnética, que em diversas épocas foi intrepretado como partícula, como onda, como partícula, como onda e no fim tinha certo comportamento ondulatório, mas de repente voltou a usar o conceito de partícula."

Pesq: "Então, a importância do estudo do Efeito Fotoelétrico seria...para que os alunos compreendessem este comportamento como partícula?"

Prof: "Sim. E, a quantização de energia e o conceito de fóton, de que a energia está concentrada em pacotes que são chamados de fótons."

Pesq: "Qual a relação que o senhor considera existente entre o trabalho que o senhor desenvolve como pesquisador e o seu trabalho nas suas aulas de Mecânica Quântica? Existe esta relação?"

Prof: "Existe, porque para todas as coisas que se faz no trabalho de pesquisa, você tem que saber Mecânica Quântica. Então está diretamente ligado. Tem que saber eletromagnetismo, tem que saber onda, tem que saber um pouco de Mecânica Estatística."

Pesq: "Mas o senhor comenta isto na sala de aula? O senhor trabalha isto com os alunos? Alguma coisa de sua pesquisa, ou não?"

Prof: "Não. Este tipo de coisa eu deixo para eles fazerem seminários. Pois, se eu

começar a falar sobre supercondutores, é um trabalho muito extenso, então eu menciono, às vezes, o básico; o que é um metal, um isolante, um semicondutor, um supercondutor. Eu dou a definição básica, mas não entro em detalhes."

Pesq: "O que o senhor utiliza em sala de aula para ensinar a Mecânica Quântica? O material e o método."

Prof: "Aulas expositivas, seminários, aulas de exercícios, que envolvem matemática e aulas de discussão, que envolvem perguntas conceituais; fora, os recursos computacionais, que a gente está utilizando agora."

Pesq: "O senhor introduziu o uso dos recursos computacionais em sua aula?"

Prof: "Sim. Todas essas mudanças da aula veio junto com o estudo que você começou a fazer com simulação, porque antigamente eu utilizava o método convencional. Eu dava a minha aula, falava a aula inteira, dava a lista de exercícios para (o aluno) resolver, que eu iria corrigir depois e dava duas provas por semestre e pronto. Daí eu comecei a mudar o método, porque eu comecei a pensar um pouco mais sobre como poderia facilitar o ensino de Mecânica Quântica, seguir outros caminhos, para tornar a aula mais eficiente e menos cansativa."

Pesq: "Quando a gente iniciou o trabalho, queríamos trabalhar com o software VQM (Visual Quantum Mechanics), por que o senhor não quis trabalhar como o software?"

Prof: "Porque ele é mais orientado para soluções da equação de Schroedinger, são coisas mais complexas...Digamos: o software VQM, que vem no CD (software disponível no mercado), tudo bem, ele tem todos aqueles gráficos de função de onda, solução da equação de Schroedinger, mas é pouca coisa; tem muita análise de função de onda que está acima do nível da disciplina e não tem

nada sobre experimentos. Por exemplo, no site do VQM, que está na Internet, aí sim, tem alguma coisa (de experimentos) mas você praticamente não consegue interagir."

Pesq: "E o fato de o senhor ter optado pelos FcO (Física con Ordenador) seria?"

Prof: "É porque tem todos os experimentos de Mecânica Quântica e, principalmente, pela interatividade que tem. O aluno consegue realizar o experimento, ele muda a energia, muda o potencial, muda o comprimento de onda."

Pesq: "Qual seria a parte principal que influenciou a escolha pelo FcO?"

Prof: "Ele é claro. A parte gráfica é simples e a manipulação do programa é simples. É quase auto explicativo e a principal coisa é a interatividade. O aluno não fica olhando as coisas acontecerem, sendo que ele vai mudar todos os parâmetros e ele consegue descobrir o que acontece, se muda uma coisa ou muda outra."

Pesq: "Em relação a nossa participação, o que o senhor esperava da nossa intervenção, quando a gente fez o trabalho?"

Prof: "Justamente, eu esperava ver a reação dos alunos frente a utilização da ferramenta computacional."

Pesq: "O senhor esperava que a gente fornecesse algum subsídio?"

Prof: "Eu gostaria de ver o resultado da pesquisa, para ver se realmente vale a pena investir neste tipo de coisa ou não. Porque, ainda tem muita coisa para ser feita na Mecânica Quântica, do ponto de vista da simulação computacional, que poderia ajudar os alunos. Então, se a gente chegar a conclusão de que realmente o aluno consegue ter uma visão mais clara das coisas e facilitar compreender, daí, a gente pode investir mais neste tipo de trabalho, senão teria que deixar de lado.

Mas aparentemente, como na Mecânica Quântica, o nível de abstração é muito maior, uma simulação, como esta aí, ajuda a pessoa a imaginar o que está acontecendo."

Pesq: "O senhor observou isto?"

Prof: "Ajuda. Agora, a única coisa é que a gente não pode só usar a simulação, pois há uma série de detalhes que a simulação, pelo menos neste tipo, não mostra; que se dá à interpretação uma visão clássica, de muitos efeitos que podem ser quânticos. Então, a gente está entregando uma imagem clássica de muitas coisas que acontecem em nível quântico, que poderiam não ser completamente correto, mas pelo menos ajuda o aluno a ter uma idéia mais ou menos intuitiva."

Pesq: "Então, qual o papel do professor aí, durante o trabalho com o software?"

Prof: "O software não é perfeito, então, um trabalho de complementação. Um trabalho de complementar as idéias que tem lá... Eu não sei o que é mais eficiente; se é deixar o aluno lá, sozinho, sem nenhuma explicação para ele se virar e descobrir o que é, ou se é melhor dar uma explicação primeiro, antes de utilizar o *software* ou ele utilizar o *software* e eu dar a explicação depois. Isto é uma coisa, de repente, da pesquisa, que eu gostaria de saber. O que foi mais eficiente?

Pesq: "Sozinho, seria como? Por exemplo?"

Prof: "Você fala sobre o Efeito Fotoelétrico, aí você leva ele no computador e ele tenta descobrir o que acontece."

Pesq: "Sem ninguém falar nada?"

Prof: "Isto, sem ninguém falar nada. E depois, você entra com uma explicação. Aí, qual é a idéia...? Se você começa a explicar quando ele já tem uma imagem mental, do tipo, de como é o experimento, talvez ele consiga aproveitar melhor a explicação do professor. Ou seria melhor, o professor explicar oralmente e ele ir

unesp

conferir no laboratório? O que é melhor? Então, esta é uma pergunta que para mim não está clara ainda."

Pesq: "O fato da gente estar presente (pesquisadora e orientador), como o senhor sentiu a nossa presença? A minha presença durante a aula gerou alguma mudança de atitude para o senhor, enquanto o senhor estava na aula?"

Prof: "Você fala em qualquer aula, ou no laboratório?"

Pesq: "No laboratório."

Prof: "No laboratório, obviamente sim, pois você orientou, entregou a apostila, então tem uma interferência forte. Agora, durante as aulas, não."

Pesq: "Então, o senhor acredita que durante as aulas de laboratório, nossa presença teve alguma influência?"

Prof: "Sim, pois você entregou a apostila, né? Então, você já induziu eles como que é que isto funciona."

Pesq: "A apostila foi a tradução do texto do próprio *software*. O senhor achou interessante esta tradução?"

Prof: "O que eu percebo é que..., para te falar a verdade você fez com o orientador, pois eu não estava, né? Quando você entregou a apostila, eu não estava?"

Pesq: "O senhor estava sim."

Prof: "Mas então, será que foi outra que eu não estava?" (o professor demonstra não se lembrar direito desta aula).

Pesq: "Lembra que teve a discussão depois? O senhor participou."

Prof: "Bom, eu não sei se foi bom ou não. Você não chegou a perguntar para os alunos? Digamos assim, em geral, quando você vê alguma coisa na Internet, as pessoas têm a tendência a não ler as instruções; elas vão direto e querem

unesp

descobrir. E geralmente descobrem. Agora, por se tratar de um assunto um pouco mais complexo, acho que a apostila deve ter ajudado um pouco, mas não tenho idéia formada sobre isto."

Pesq: "Com a nossa presença, o fato de termos filmado, também, o senhor acha que mudou alguma coisa em sua postura ou na postura dos alunos?"

Prof: "A minha postura não! Agora, acho que a de alguns alunos mudou um pouco, pois tem gente que se coíbe na frente da câmera e tem gente que não, que gosta de aparecer, inclusive. Mas é difícil falar, pois a gente não tem um comparativo, de ter feito um com e outra sem, mas em geral, como eles ficaram trabalhando na frente do computador, acho que eles não ficavam muito preocupados com a câmera. Acho que a maior influência da câmera foi na hora da discussão, aí que fez alguma diferença, pois todo mundo quando vê uma câmera muda um pouco."

Pesq: "O senhor acha que este pode ser um motivo de alguns alunos não terem falado muito?"

Prof: "Sim, pode ser. Pode ser que alguns tenham falado muito, tenham falado mais. Me deu a impressão, que o fato de ser um trabalho (nossa pesquisa) eles tentaram cooperar. Talvez, se não tivesse a câmera, se não tivessem induzindo eles a fazerem este trabalho, talvez eles tivessem sido um pouco mais passivos."

Pesq: "Esta afirmação se dá com base no perfil dos alunos durante suas aulas?"

Prof: "O que acontece é o seguinte: quando fizemos outros experimentos, não fizemos aquelas discussões no final da aula."

Pesq: "Não! Nós fizemos sim. Fizemos para os três experimentos. É que para os outros dois foram mais rápido. O mais demorado foi para o Efeito Fotoelétrico, que foi o primeiro."

Prof: "Ah sim, fizemos!"

Pesq: "De uma maneira geral, o senhor acredita que este trabalho contribuiu para a aprendizagem dos alunos?"

Prof: "Com certeza. É uma ferramenta a mais que se tem. Para mim, a principal contribuição é aquela; a Mecânica Quântica é muito abstrata, você tem dificuldade de imaginar as coisas e isto aí, realmente, ajuda o pessoal a se localizar. O como é este experimento, de que se trata e como está sendo feito. Se passa muita informação, é muita informação nova. De repente se fala em fóton, potencial de corte, freqüência de corte, que realmente o comportamento é corpuscular e não ondulatório, que a Física Clássica e a Mecânica Clássica não servem mais, que a energia está associada a freqüência e não mais a intensidade da luz. Então, é tanto conceito, que o aluno acaba ficando perdido; agora, quando ele vai lá, naquela simulação, ele se confronta com todos estes conceitos novos e ele consegue brincar com eles. E a hora que ele consegue brincar com eles, ele fica mais familiarizado e tem mais facilidade para entender."

Pesq: "Este trabalho, que foi realizado com a simulação, influenciou alguma mudança na sua postura como professor? Contribuiu para a sua aula, no seu jeito de dar aula?" (a experiência do professor como aluno servindo como base orientadora e sendo reproduzida em sua nova postura como professor).

Prof: "Contribuiu, pois quando a gente começa a trabalhar com estas coisas, a gente começa a fazer uma crítica geral sobre o que você está fazendo. Digamos, pela formação que eu tive, foi uma formação bem tradicional, aquela aula bem formal, e depois aquela 'bruta paulada' na hora da prova, então, era na base da 'paulada' mesmo, do 'se vira'. Aqui (onde estudou, no Chile) você vai chegar e vai levar 'paulada' mesmo. Então você vai lá e se arrebenta fazendo alguma coisa,

pois, você vai ter que chegar aqui e saber. Daí, é aquele negócio do 'se vira', se vira sozinho. Então, de alguma maneira, com o uso do software, a gente está ajudando a pessoa a entender e aí, a gente consegue introduzir todos aqueles trabalhos feitos na aula e introduzir a resolução. E sendo uma disciplina bastante difícil, o fato da prova ter um peso menor, isto diminui o stress com que o aluno enfrenta a disciplina. Acho que a hora que você diminui um pouco o stress, o aluno consegue absorver mais a informação."

Pesq: "O senhor diminuiu o peso das provas individuais depois deste trabalho"

Prof: "Diminuí. Foi junto com este trabalho. Foi a primeira vez. Eu fazia assim: dava as provas e depois o seminário que valia 30%. Mas a prova valia 70% e a prova era de 'matar', entendeu? Mas agora, com este negócio que eles vão e têm uma discussão dos conceitos na aula e têm problemas para resolver, que também discutem na aula, os alunos vão ficando muito mais familiarizados com os conceitos. Eles vão escutando, vão discutindo, vão amadurecendo mais os conceitos. Quando chega na hora da prova, eles já sabem o que está falando a prova, sabem o que têm que responder, sabe do que se trata. Muitas vezes, tem muita gente que vai para a aula e deixa de estudar até antes da prova. Em Mecânica Quântica você não consegue aprender assim, pois são tantos conceitos e tão abstratos que você tem que amadurecer isto para poder absorver alguma coisa. Então, o cara que chega na véspera da prova e pega o livro, não vai saber nada. Então, o que acontecia? Eu dava a prova e o pessoal ia mal...mal e mal! Então, o único jeito era dar problemas triviais, para eles conseguirem passar. Mas, agora, não. Eu dei uma prova difícil, com problemas difíceis e eles estão mais familiarizados, então, resolveram com muito mais facilidades. Antigamente, inclusive, chegava uma hora que eles não conseguiam nem imaginar as coisas,

não sabiam nem sobre o que se estava falando e aí, a simulação computacional é que ajuda a criar uma imagem mental do que realmente está acontecendo."

Pesq: "Em relação ao Efeito Fotoelétrico, quais são os conceitos-chave envolvidos? Os conceitos fundamentais para a compreensão do Efeito Fotoelétrico?"

Prof: "O fato de se considerar a luz como corpúsculo, que é o fóton; que a energia está associada a uma freqüência e que a absorção da energia é instantânea. São os três pontos básicos que Einstein colocou e que conseguiu explicar o Efeito Fotoelétrico. Isto é o mais básico. E a quantização de energia, que usou as idéias do Planck, a quantização de energia."

Pesq: "Então, se o senhor fosse analisar um aluno e avaliá-lo, perguntar sobre o Efeito fotoelétrico, ele teria que ter esta concepção?"

Prof: "Baseado nisto aí, dá para entender alguns experimentos em que aparecem o conceito de potencial de corte e limiar de freqüência para o Efeito Fotoelétrico, mas, isto aí, é conseqüência daqueles outros conceitos básicos."

Pesq: "Como o senhor compreende a utilização do laboratório de Informática, em termos de ensino de ciências?"

Prof: "Ele (Laboratório de Informática) te permite utilizar um monte de ferramentas gráficas, simulação, mostrar figuras, que você não consegue fazer no quadro, você mostra no computador facilmente. E tem outra coisa, o laboratório de informática permite além, podermos trabalhar com determinados softwares, o acesso a *Internet* te permite acesso a um monte de informação e, isto é importante, porque o aluno que quer pesquisar, quer ir um pouco além do que foi visto na aula, ele consegue pegar na *Internet*, principalmente aqui, que não tem muitos livros."




0810001201