



Doação da autora 17.06.05

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

LAURA APARECIDA DOS SANTOS NEVES

ANALOGIAS E METÁFORAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS:

Análise da inserção de um livro paradidático de Mecânica
Quântica e a sua leitura por alunos do ensino médio

BAURU-SP

2003



①

Número de chamada

Clas. 1101058

PHA N 4232

Tombo n° 1280

LAURA APARECIDA DOS SANTOS NEVES

ANALOGIAS E METÁFORAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS:

**Análise da inserção de um livro paradidático
de Mecânica Quântica e a sua leitura por alunos do ensino médio**



Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência, da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Bauru, como requisito à obtenção do Título de Mestre em Educação para a Ciência, Área de Concentração Ensino de Ciências.

Orientador: Prof. Dr.

Aguinaldo Robinson de Souza

BAURU-SP

2003



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

Neves, Laura Aparecida dos Santos

Analogias e metáforas no ensino de ciências: análise da inserção de um livro paradidático de mecânica quântica e a sua leitura por alunos do ensino médio / Laura Aparecida dos Santos Neves. - - Bauru : [s.n.], 2003.

147 f.

Orientador: Aguinaldo Robinson de Souza.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, 2003.

1. Mecânica quântica. 2. Ensino de ciências. 3. Livro paradidático. 4. Analogias. 5. Metáforas. I – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II - Título.

LAURA APARECIDA DOS SANTOS NEVES

ANALOGIAS E METÁFORAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS:

**Análise da inserção de um livro paradidático
de Mecânica Quântica e a sua leitura por alunos do ensino médio**

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA-ÁREA DE CONCENTRAÇÃO ENSINO DE
CIÊNCIAS

COMISSÃO EXAMINADORA

Presidente e Orientador: Prof. Dr. Aguinaldo Robinson de Souza, docente do
Departamento de Química da UNESP – Campus de Bauru/SP.

2º Examinador: Prof. Dr. Pedro da Cunha Pinto Neto, docente da Faculdade de
Educação da UNICAMP – Campinas/SP.

3º Examinador: Prof. Dr. Roberto Nardi, Docente do Departamento de Educação
da UNESP – Campus de Bauru/SP.

Bauru, 31 de julho de 2003.



*“O Senhor é meu pastor, nada me
faltará. Em verdes prados Ele me faz
repousar.*

Conduza-me junto às águas refrescantes.

Restaura as forças de minha alma.

Por amor de Seu nome.

Ainda que eu atravessasse o vale escuro.

Nada temerei, pois estais comigo.”.

(Salmo 22, 1 a 4)

Dedico este trabalho a Deus por Ter me
dado forças para superar a doença.
Ao meu pai que não viu a conclusão
deste e ao meu marido Messias, meus
filhos Eduardo e Patrícia, razão de tudo
nesta vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me dado nova oportunidade de viver e de conhecer as pessoas amigas da UNESP –Campus Bauru.

Ao meu orientador Prof. Dr. Aguinaldo Robinson de Souza da UNESP / BAURU, pelas idéias e pelo incentivo.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência que me apoiaram no momento que mais precisei, onde deram respaldo para que realizasse o meu sonho, concluir o mestrado.

Aos amigos que de uma forma ou de outra colaboraram para a realização deste sonho.

À minha mãe e ao meu pai pelo carinho.

Ao meu marido e filhos que me apoiaram e me incentivaram durante esta jornada.

Meus sinceros agradecimentos.



NEVES, L.A.dos S. Analogias e Metáforas no Ensino de Ciências: análise da inserção de um livro paradidático de Mecânica Quântica e a sua leitura por alunos do ensino médio. Bauru 2003. 147f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência – Área de Concentração Ensino de Ciências) – Faculdade de Ciências, Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO

As metáforas e analogias são vistas, atualmente, como importantes estratégias didáticas no ensino e aprendizagem de conceitos científicos complexos, devido à possibilidade de se construir, ilustrar ou mesmo compreender um novo conceito a partir de um conceito inicial familiar, explorando as suas relações comuns e não comuns. O conhecimento de e sobre analogias e metáforas é essencial para os professores de Ciências e, baseado nos estudos feitos através de levantamento bibliográfico surgiu a proposta deste trabalho que foi realizado com alunos do ensino médio. No mundo de hoje muitos são os desenvolvimentos tecnológicos em várias áreas envolvendo a mecânica quântica: nas áreas de comunicação, informação, na química, na biologia, nas ciências da saúde, engenharia, etc. Apesar dos alunos entrarem em contato diariamente com situações em que estes dispositivos estão presentes, as explicações dos fenômenos não são triviais. Acreditamos que é desejável que os alunos encontrem algumas idéias nesta área já no ensino médio. Para tanto foi solicitado a seis alunos de 15 a 17 anos do ensino médio que fizessem a leitura do livro paradidático “Alice no país do Quantum”. Para a coleta de dados foram realizadas entrevistas, e composição de uma redação, que foram transcritas e analisadas. Após este procedimento verificou-se que o livro paradidático com a linguagem metafórica nele existente foi um valioso recurso para a aprendizagem de alguns conceitos iniciais em mecânica quântica. As considerações finais revelam que o jovem é capaz não só de compreender através de metáforas, como também de incorporá-las ao seu discurso cotidiano.

Palavras-Chave: Mecânica Quântica, metáforas e analogias, livro paradidático, ensino de Ciências.



NEVES, L. A. dos S. Analogies and Metaphors in the science teaching: Analyses of insertion of a Paradidactic book of Quantum Mechanic and your Reading for Students of the intermediate teaching. Bauru 2003. 147 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência – Área de Concentração Ensino de Ciências) – Faculdade de Ciências, Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

ABSTRACT

Today, metaphors and analogies are seen as important didactic strategies in teaching and learning of complex scientific concepts, due to the possibility to build, to illustrate or even to understand a new concept starting from a familiar initial concept, exploring its common and not common relationships. The knowledge by teachers of, and about analogies and metaphors can lead to new teaching possibilities inside a Science classroom because of their possibilities to link some subject of their field of knowledge in almost unlimited ways. Quantum Mechanics is one of the most relevant theories of the twenty century. Many technologies used currently by mankind are based on their very concepts like the energy quantization, the dual nature of light, and the understanding of the electron wave/particle duality. Chemistry, Biology, Physics, Mathematics, and today Engineering, are some of the knowledge areas where the Quantum Mechanical concepts of Nature are most visualized due to the technological clues obtained along the scientific development. Quantum Mechanical concepts and their phenomenological results are not close to our daily life. These are, in a sense a barrier to their teaching, and many studies are being developed in the spite to lead students to enter in contact with new situations where the explanations of the phenomena are not trivial. We believe that is desirable that the students, in the K-12, and high school, enter in contact with some initial concepts of some of these new ideas. The objective of this study is to analyze the contents and the lecture students' abilities of a paradidactical book entitled “Alice in Quantumland: An allegory of Quantum Physics”. The students' abilities were studied by interviews, and the construction of texts by them. We verified that the metaphoric language used in the paradidactical book lead to the comprehension of some of the initial concepts in Quantum Mechanics.

Keywords: Quantum Mechanics, metaphors and analogies, paradidactical book, teaching science

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
CAPÍTULO I - ANALOGIAS E METÁFORAS NOS TEXTOS DIDÁTICOS E PARADIDÁTICOS DO ENSINO DE CIÊNCIAS	11
1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS.....	24
 CAPÍTULO II - O LIVRO PARADIDÁTICO	26
1 JUSTIFICATIVA	26
 CAPÍTULO III - ENSINO DE MECÂNICA QUÂNTICA	30
 CAPÍTULO IV BREVE HISTÓRICO DA MECÂNICA QUÂNTICA	43
1 INTRODUÇÃO	43
2 J.J. THOMSON, O DESCOBRIDOR DO ELÉTRON	46
3 RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO	48
4 HIPÓTESE DE PLANCK PARA A RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO	50
5 O EFEITO FOTOELÉTRICO	52
6 O ESPECTRO DO ÁTOMO DE HIDROGÊNIO	54
 CAPÍTULO V - REFERENCIAL TEÓRICO	56
 CAPÍTULO VI - ABORDAGEM METODOLÓGICA	68
1 METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO LIVRO	69



2 METODOLOGIA DAS ENTREVISTAS	70
3 PERFIL DOS LEITORES	71
4 METODOLOGIA DAS REDAÇÕES	75
 CAPÍTULO VII - RESULTADOS E DISCUSSÕES	 76
1 ANÁLISE DO LIVRO PARADIDÁTICO	76
1.1 INTRODUÇÃO	76
1.2 OS NÍVEIS DA HISTÓRIA: O FABULAR E O CIENTÍFICO	81
1.3 O PLANO CIENTÍFICO	88
1.4 PLANO FABULAR -METAFÓRICO	89
1.5 O INSTITUTO DE MECÂNICA	90
2 ENTREVISTAS	100
2.1 ENTREVISTA - PATRÍCIA e WILLIAN.....	101
2.1.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ENTREVISTA.....	109
2.2 ENTREVISTA YNAIARA	110
2.2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ENTREVISTA	113
2.3 ENTREVISTA DE BRUNA CRISTINA	114
2.3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ENTREVISTA	115
2.4 ENTREVISTA DE LAÍS EMANUELA	116
2.4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ENTREVISTA	120
2.5 ENTREVISTA DE GLACI MARIANA	121
2.5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ENTREVISTA	125
3 ANÁLISE DAS REDAÇÕES	126
3.1 REDAÇÃO- YNAIARA - ALICE NO PAÍS DO QUANTUM	127
3.1.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDAÇÃO	128
3.2 REDAÇÃO- BRUNA CRISTINA - ALICE NO PAÍS DO QUANTUM	128
3.2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDAÇÃO	129
3.3 REDAÇÃO- LAIS EMANUELA - ALICE NO PAÍS DO QUANTUM	130
3.3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDAÇÃO	131
3.4 REDAÇÃO -GLACI MARIANA - ALICE NO PAÍS DO QUANTUM	132
3.4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDAÇÃO	133

3.5 REDAÇÃO –WILLIAM - ALICE NO PAÍS DO QUANTUM	133
3.5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDAÇÃO.....	134
3.6 REDAÇÃO- PATRICIA - ALICE NO PAÍS DO QUANTUM	135
3.6.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDAÇÃO	136
CONSIDERAÇÕES FINAIS	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	142

CAPÍTULO I

ANALOGIAS E METÁFORAS NOS TEXTOS DIDÁTICOS E PARADIDÁTICOS DO ENSINO DE CIÊNCIAS

1. INTRODUÇÃO

Ao iniciar o trabalho é importante enfocar a perspectiva lingüística, e a interação de conhecimentos extralingüísticos trazidos de fora do texto pelo leitor, como o conhecimento de mundo, que pode ser adquirido não só de maneira formal, mas também de maneira informal. A vida se encarrega de formar o repertório de cada indivíduo, pois pode-se afirmar que tudo o que se lê, se ouve ou se vê está incorporado no que há de mais peculiar em cada pessoa, em sua identidade.

Para que este trabalho seja bem definido, é necessário que haja compreensão das palavras que nortearão este estudo: analogias e metáforas.

Analogia - relação, semelhança de uma coisa com outra, princípio pelo qual a linguagem tende a uniformizar-se, reduzindo as formas irregulares e menos freqüentes a outras regulares e freqüentes.

Metáfora - figura de linguagem que consiste em transpor o significado de um termo (ou enunciado) para outro termo (ou enunciado) em virtude de uma analogia ou de uma comparação subentendida. A metáfora é um

dos procedimentos mais produtivos de criação vocabular. A linguagem científica também a utiliza e, na língua padrão, muitos dos sentidos ditos "figurados" são antigas metáforas já diluídas no senso comum da linguagem¹

Segundo Gil-Perez (1991), para poder ensinar é necessário conhecimento profundo do conteúdo, por isso os professores de Ciências precisam, não somente de formação adequada, mas serem conscientes de suas insuficiências, para que o ensino não reforce a imagem de *Ciência* como um amontoado de termos técnicos onde se desconhece o significado e as relações entre os conceitos

Uma das estratégias é o uso de textos paradidáticos em que se utilizam analogias e metáforas. Estas podem ser usadas no processo de ensino aprendizagem de conceitos científicos complexos devido à possibilidade de se construir ou mesmo compreender um novo conceito, a partir de um conceito inicial familiar, explorando as relações comuns e não comuns.

Segundo Canolla, 2000, a metáfora não é propriedade exclusiva de poetas. Se observarmos textos científicos, jornalísticos e técnicos e mesmo a fala cotidiana, vamos encontrar enunciados metafóricos que nem sempre são percebidos como tais pelos interlocutores.

As metáforas não devem ser vistas como meras figuras de retórica, como o pretendem os defensores de uma objetividade de sinal positivista, mas, ao contrário, o uso de metáforas é uma necessidade epistemológica. (Cachapuz, 1995, p.157).

¹ Grande Enciclopédia Larouse Cultural, Nova Cultural, 1998. Vol. 2.



Lopes (1986, p. 25), afirma que: "Não é apenas a linguagem poética que se vale de metáforas. Sendo as línguas naturais sistemas de signos através dos quais nós utilizamos alguma coisa(B) para dizer outra (A), é da sua essência serem metafóricas".

As metáforas são largamente empregadas em diferentes situações de uso da linguagem e independente disto, o contexto interage com o tipo de metáfora e a natureza do texto.

Cachapuz (1995) defende a relevância educacional do uso adequado das analogias e metáforas principalmente para os professores de Ciências e da necessidade desse uso se enquadrar numa adequada fundamentação epistemológica. Sugere também maneiras possíveis do uso de analogias e metáforas.

A necessidade do uso de analogias se faz presente em situações como:

- a) no dia a dia, nas chamadas metáforas convencionais.
- b) na teorização científica para a solução de problemas.
- c) na evolução da linguagem.
- d) nos esforços de professores e alunos para dar sentido e coerência ao processo de ensino e aprendizagem.

Segundo Cachapuz (1995) o renovado interesse pelo potencial educacional de analogias e metáforas deve-se, em primeiro lugar, ao fato de que a linguagem usada no discurso das ciências tem finalidades e construções próprias,

tendo freqüentemente pouco a ver com o discurso da Educação, ou seja, desvaloriza o processo de construção do conhecimento e reforça a imagem das ciências para muitos alunos como um amontoado de termos técnicos onde se desconhece o significado mais profundo; em segundo lugar, à própria evolução das didáticas específicas, significando melhor delimitação do campo de estudo e desenvolvimento de instrumentos conceituais e metodológicos.

Três linhas de investigação destacam-se sob o ponto de vista educacional e são designadas por: Formação de Professores, Resolução de Problemas e Discurso Didático (estudo da linguagem em sala de aula). (CACHAPUZ, 1995, p. 159).

Analogias e metáforas são inseridas em teses, segundo Cachapuz:

Tese n.º 1: "Sob o ponto de vista didático, a escolha de uma analogia ou metáfora não se esgota no seu valor facial tão ou mais importante é a exploração dos seus aspectos positivos e negativos no quadro de estratégias de ensino devidamente fundamentadas."p.159.

Tese n.º 2: "Importa estudar que analogias e metáforas são usadas por professores e alunos na sala de aula e porque é que o são."p.161.

Alguns estudos foram feitos analisando o uso de metáforas em conceitos científicos. Krapas e Borges (1998) utilizam a estrutura do pensamento analógico para ensinar circuito RC. Em trabalho realizado por eles, mostra a medida em que a hipótese da Analogia Gerativa dá contribuição para o

entendimento dos processos mentais envolvidos no uso de analogias, e propõem uma analogia para o circuito RC baseado no decaimento de uma amostra radioativa.

Na hipótese da Analogia Gerativa as analogias são caracterizadas por inferências gerativas. Analogias são geralmente caracterizadas por dois domínios: o domínio base ou fonte, que é o domínio dos conhecimentos existentes, e o domínio alvo, que é o domínio dos conhecimentos a serem investigados. Nesta hipótese surgem inferências conceituais sobre o novo conhecimento a partir de um domínio base dado na forma de um modelo analógico. (KRAPAS e BORGES, 1998, p.50).

A analogia proposta no trabalho é um exemplo de ocorrência de analogias com sistematicidade em que se estabelecem atributos os quais são mais prováveis de serem importados para o domínio alvo. Se eles pertencerem a um sistema de relações de ordem hierárquica diferente, ou seja, as relações de ordem inferior são subordinadas às relações de ordem superior, uma analogia deste tipo permite mapeamentos mais fortes do que uma relação isolada. O mapeamento do circuito RC com decaimento radioativo tal como foi apresentado é muito interessante para professores em formação e/ou em sala de aula.

Argumentando posições em que tratam metáforas como produtos triviais do pensamento, Lakoff e Johnson (2002) têm enfatizado que a maior parte de nosso sistema conceitual está estruturado em relações metafóricas.



Martinez et al. (2001) analisaram como os professores com experiência respondem metaforicamente à questão. "Como você entende aprendizagem?".

Os dados coletados foram estudados e observou-se que algumas metáforas são tímidas, revelando características de mais de uma perspectiva teórica. Foram observadas noções behavioristas com idéias empiristas, 57%; cognitivista com domínio construtivista, 38%; e o restante sócio-histórico. Comparando com professores inexperientes observou-se que 56% formularam metáforas construtivistas e 22% descrevem metáforas behavioristas.

Os autores sugerem que seria frutífero, não só em ciência educacional, mas também em educação científica, motivar os estudantes a tentar descobrir que podem moldar o entendimento de fenômenos físicos a partir de metáforas. Propõem, também, alargar o conceito de educação científica estabelecendo uma relação complementar de pensamento lógico-matemático e imagens metafóricas.

Na integração da imagem metafórica destaca-se o fato de que alguns estudantes aprendem melhor com histórias, outros através de obras de arte, outros, ainda, por atividades experimentais. Problemas podem ser resolvidos por modos alternativos. Alguns pontos de partida distintos estão baseados em diversidade de metáforas e analogias de acordo com os diferentes pontos de partida.



Stofflett (1996) descreve quatro estudos de casos em que os professores desenvolvem metáforas baseadas em suas histórias pessoais como alunos e educadores. Estes professores usam metáforas para guiar suas práticas e contextualizar seus papéis pedagógicos.

A metáfora é usada como uma ferramenta em educação e no trabalho. O professor constrói sua metáfora pedagógica e leva em consideração o contexto escolar, o domínio do assunto, a história pessoal e a experiência pedagógica.

Cat (2001) analisou as noções e o papel das metáforas nas ilustrações dos trabalhos de Maxwell e verificou que, durante séculos, a metáfora tem sido bem documentada, mas isto não significa que tenha sido bem entendida, e não é surpresa que na literatura científica e filosófica o uso de metáforas tenha sido negado muitas vezes. Argumentou, entretanto, que as metáforas têm papel intencionalmente determinado e são fundamentais no trabalho científico de Maxwell.

As metáforas exemplificam as próprias visões de Maxwell sobre o assunto, uma visão filosófica da ciência, em que a representação do método científico não pode ser separada das concepções de linguagem e funções da mente.

A este respeito Cat mostra que, ao contrário da ênfase, no século dezenove, e da rejeição da imaginação em favor da objetividade mecânica de

instrumentos e regras, a visão de Maxwell apontou uma metodologia inclusiva que acomoda ambas e explora o uso da imaginação.

A apresentação da natureza, para Cat, não pode ser separada do entendimento e do uso da linguagem. A conexão é a chave para o entendimento da função cognitiva das metáforas em Maxwell. Isto não deveria ser surpresa, desde que uma atitude similar para a relação entre lógica, linguagem e retórica foi difundida entre os filósofos do século XIX. A instância de ensino e aprendizagem que nos interessam é relativa às noções abstratas.

Geralmente, nesta visão, a prática da ciência engaja o intelecto do cientista, a imaginação, o corpo, o ambiente material e cultural. Interagem e se cruzam, correspondentemente, no próprio entendimento da prática científica, história, lógica, matemática, epistemológica, filosófica da linguagem e psicológica.

Maxwell efetivamente introduziu e explorou esta variedade de considerações dentro de uma visão maior e mais complexa do método científico e verificou como estes valores são inseparáveis de suas limitações. O recurso para concretizar as representações imaginárias, sem falar do uso de metáforas, coloca a narrativa científica de Maxwell no mesmo nível dos dispositivos retóricos da literatura vitoriana² do seu tempo. Em ambos os casos, os modelos concretos

² O reinado da Rainha Vitória (1837-1901) foi longo e controverso, onde as expressões literárias, poéticas e críticas da língua inglesa conheceram um período glorioso, o que não significa que na literatura vitoriana todos os autores tenham os mesmos ideais, mas foi uma época de transformações sociais.

As principais obras são dos poetas Alfred Tyson, Robert Browning, Mathew Arnold, Algernon Charles Swinburne, Dante Gabriel Rossetti. O romance tornou-se a forma literária dominante da época. O realismo impôs-se nos romances de Jane Austen, Walter Scott, Charles Dickens e

ilustram a verdade superior abstrata tipicamente moral na literatura vitoriana, e no caso de Maxwell, a representação simbólica envolve a descrição de novo fenômeno eletromagnético. Maxwell aplica elementos de retórica de textos bíblicos, pois gostava de falar em parábolas, isto teria origem em seu próprio fervor religioso.

Segundo Cat (2001) Maxwell celebrou um fundo interesse intelectual entre pensamento e linguagem como um veículo para representação de idéias científicas. A solução geral para o problema da interpretação, isto é, o problema de como suprir o entendimento de potenciais e mais geralmente, foi o da linguagem da Física Matemática aplicada ao novo fenômeno. Maxwell admitiu um número de probabilidade de formas de entendimento. Cada uma mobilizou um tipo de entendimento ou interpretação, e ele atribuiu a cada uma, um diferente tipo de possibilidade de pensamento científico.

A metáfora, para Maxwell, é a figura do discurso/pensamento relacionado com a analogia que expressa mais pertinentemente a transferência cognitiva que a ilustração acarreta entre termos científicos e designa isto, explicitamente, como metáfora científica. Além do debate instrumentalista, ele insiste que o principal valor cognitivo da ilustração reside na presença de um modelo e um método de equivalente representação, interpretação e entendimento.

"As metáforas e as analogias são atualmente apontadas, por muitos investigadores, como estratégias didáticas fundamentais no ensino e na aprendizagem de temas complexos de áreas científicas

William Makepeace, há também Anthony Trollope, as irmãs Brontë, George Eliot, George Meredith e Thomas Hardy entre outros.



reconhecidas como difíceis, pela possibilidade de construir, ilustrar ou compreender uns domínios científicos, desconhecidos dos alunos, a partir do domínio familiar, conhecido dos alunos, com base na exploração de atributos /relações comuns e não comuns de ambos os domínios (NASCIMENTO e CACHAPUZ, 2001, p.195)".

Um estudo descritivo, de índole naturalista, foi realizado por Nascimento e Cachapuz (2001) para verificar se os professores e os alunos usam metáforas e analogias no discurso didático na construção de conceitos complexos do tema Equilíbrio Químico no 10º ano de escolaridade.

O trabalho citado foi feito em etapas. No primeiro momento houve a gravação e filmagem das aulas de dois professores de Ciências Físico-Químicas envolvidos no estudo e posterior transcrição das aulas. No segundo momento foi feita a definição, a priori, das categorias de conteúdo.

Com base nas idéias estruturais do tema *equilíbrio químico* e posteriormente uma categoria de conteúdo-organização e contextualização do processo de ensino aprendizagem com base na linguagem figurativa e, em último momento, tendo presente a definição operacional de metáforas com base na relação de atributos/relações de semelhança entre a fonte – o domínio familiar – e o alvo – o domínio científico.

Foram definidos episódios metaforicamente relevantes, os segmentos do discurso didático-pedagógico nos quais era possível reconhecer a utilização de uma metáfora/analogia. Desenvolveu-se também uma análise tendo como finalidade caracterizar a natureza das interações verbais e identificar os constituintes das metáforas e analogias com uma função cognitiva.



Após a análise dos planos escritos dos professores concluiu-se que ambos exploram o tema da estruturação de conceitos, seguindo um modelo de metáforas convencionais representacionais associadas à noção de sentido e a idéia de compartimentabilidade.

Para reforçar a eficácia pedagógica deste sistema de metáforas um dos professores culmina a sua aproximação ao conceito de equilíbrio químico como um equilíbrio dinâmico através da construção de uma analogia baseada no domínio familiar dos alunos e dominada pela idéia de compartimentabilidade. Segundo o professor, aquilo que se passa dentro de uma reação química é semelhante àquilo que se passa na transferência de objetos entre duas caixas.

Entretanto, a analogia foi pouco explorada pelo professor, por não considerar a quantidade de objetos dentro da caixa e o tamanho da caixa. Para o conteúdo relacionado ao Princípio de Lê Chatelier, os professores utilizaram estratégias completamente diferentes, mas com resultados metafóricos significativos para ambos.

Um professor utilizou como estratégia o programa de computador Lê Chat, cuja imagem por si só constitui uma analogia com as reações químicas. Este programa, entre as suas várias possibilidades, proporciona múltiplas condições de representação gráfica, dinâmica e interativa de uma reação química, e, além disso, o programa permite observar aspectos de uma reação química que não seriam observáveis ou realizáveis numa situação real, facilitando assim o processo de “conceitualização” dos alunos.

As analogias estão presentes na relação entre as imagens produzidas pelo programa e as reações químicas, pois uma imagem que é desenvolvida pelo programa permite fazer múltiplas relações analógicas.

No programa *Lê Chat* as analogias encontradas são visuais e podem ser dinâmicas ou interativas. Também são significativos os episódios metafóricos onde as ocorrências dependem do cotidiano do aluno.

Verifica-se que o discurso metafórico usado pelos professores é assimilado e usado pelos alunos durante o processo de aprendizagem do tema *equilíbrio químico* (gastar, o inverso, converter, sentido inverso, consumir, formar, ao contrário, contrariar).

Os autores concluem que, tanto professores como alunos, usam em seu discurso didático, metáforas e analogias com função cognitiva, para construir conceitos relevantes no tema *equilíbrio químico*, na organização do ensino para controle de disciplina, na contextualização dos conteúdos, mas ainda de forma inadequada.

Para Nascimento e Cachapuz (2001) as conclusões mais pertinentes são:

1. Os professores usam metáforas convencionais científicas institucionalizadas que promovem o aparecimento de um discurso próprio.
2. Os professores não dizem aos alunos que estão usando metáforas/analogias em sala de aula.

3. Os professores não esclarecem para os alunos o domínio familiar científico e as relações entre eles.
4. Os professores não exploram didaticamente os atributos comuns e não comuns entre os dois domínios.
5. Os professores não incentivam os alunos a construírem e a usarem metáforas/analogias na aprendizagem de conceitos científicos.
6. Os professores usam metáforas/analogias sem previamente estabelecer uma estratégia didática e saber se a fonte é ou não conhecida por seus alunos.
7. Os professores não desenvolvem estratégias didáticas para avaliar se ocorre aprendizagem de seus alunos.

Segundo Cachapuz, 1989, o uso da linguagem metafórica no ensino de Ciências serve para valorizar a função interpretativa da linguagem.

“Uma das maneiras de fomentar um estilo menos rígido e mais expressivo no ensino das Ciências, consiste no uso de linguagem metafórica, nomeadamente verbal, cuja importância em facilitar a transferência do conhecimento de um domínio conceitual para outro menos familiar foi desde sempre reconhecida” (CACHAPUZ, 1989, p.118).

Nas Ciências a linguagem usada está saturada de analogias e metáforas principalmente ligada à história das descobertas científicas. A analogia favorece o uso da imaginação e do pensamento quando se estabelece um instrumento de ajuda cognitiva, principalmente nos assuntos novos para os alunos,



onde favorece a integração dessa nova informação. Compete ao professor como mediador do processo ensino e aprendizagem utilizar as analogias e as metáforas como recurso didático, exemplificando e relacionando com o cotidiano do aluno.

2. OBJETIVOS

A linguagem oral e a escrita podem ser expressas de diversas formas, sendo as analogias e as metáforas uma delas.

As analogias e metáforas são constituintes do pensamento humano e estão presentes em quase todas as atividades humanas, como a expressão oral, escrita, em trabalhos científicos, os livros didáticos, paradidáticos.

Impossível imaginar a comunicação humana sem o uso de analogias e metáforas, principalmente quando entramos em campos novos e desconhecidos. Daí a necessidade de seu uso para introduzir os conceitos de mecânica quântica, pois a projeção de significados de um domínio conceitual noutro é um recurso precioso e indispensável.

O objetivo deste trabalho é analisar o conteúdo do livro paradidático, *Alice no País do Quantum*, Gilmore (1998), em relação à utilização de analogias e metáforas no ensino de Ciências. A análise foi feita considerando a perspectiva de aprendizagem de acordo com os princípios teóricos de Vygotsky, onde a linguagem tem dupla função: a de comunicação e a de representação constitutiva do pensamento.



A análise do livro foi feita tendo como parâmetros o plano fabular e o científico. Sob este enfoque, após a análise, fez-se um estudo do livro para verificar quais elementos novos poderiam ser incorporados à estrutura conceitual do educando. O texto foi apresentado a um grupo de estudantes do Ensino Médio com o intuito de verificar como o uso de metáforas pode contribuir para o entendimento de conceitos iniciais em Mecânica Quântica.

Uma outra questão analisada é quanto à leitura feita pelos alunos, pois a leitura de textos está relacionada à história de vida de cada um.



CAPÍTULO II

O LIVRO PARADIDÁTICO

1 JUSTIFICATIVA

A leitura tem como finalidade a compreensão do mundo e das pessoas, a diversão e o entretenimento.

Segundo Benjamin (2000) os textos de divulgação científica diferenciam-se dos textos didáticos, pois uma das características do primeiro é de atrair o leitor para o mundo da ciência, conquistando-o e, no caso da Física, dar-lhe uma visão nova, mais atraente e próxima do cotidiano do aluno.

Discute-se muito que é imprescindível a elevação do nível cultural da população para o entendimento dos avanços científicos e tecnológicos da atualidade. Os livros paradidáticos têm essa função, possuem aspecto mais conceitual e qualitativo, com um sentido e uma relação com a vida real, estimulam a curiosidade e a observação, levam ao questionamento, à reflexão, propiciam o gosto pela leitura e cria oportunidades para os estudantes verem respostas às questões que não têm espaço na escola.

É crescente o número de pesquisas na área da educação que enfocam a importância da utilização de textos alternativos nas aulas de Física e também em outras áreas. (ZANETIC, 1997; SILVA, 1997; RABONI, 1997).



“Nós, professores, sempre achamos que com a informação que fornecemos aos alunos eles farão as ligações que nós fizemos, mas isso não é necessariamente verdade. Não há nada que nos assegure que o aluno faz as ligações que nós gostaríamos que ele fizesse. O que dizemos em sala de aula pode ser interpretado de várias maneiras diferentes.” (ROBILOTTA e BABICHAK 1997, p.42).

Segundo Rocco (1994), as abordagens teóricas por que passaram e ainda passam a leitura e a escrita, veremos como se alteram os enfoques, ante as mudanças sociais, históricas e intelectuais que vêm marcando a humanidade, além disso, a leitura está bastante disseminada, onde se lê de tudo e em toda a parte e porque não aproveitar esta espontaneidade e usar para ensinar conteúdos de mecânica quântica. A leitura precisa ser prazerosa. A escola, lugar onde deveria se desenvolver este prazer, anula-o.

Segundo Zanetic (1997) não se pode ignorar a crise de leitura no mundo contemporâneo, que atinge de forma dramática as salas de aula, de nossas escolas de ensino fundamental, no ensino médio e também no nível universitário. O livro didático, muitas vezes, constitui a única forma de literatura presente em nossas escolas.

A finalidade da leitura é contribuir para uma melhor compreensão do mundo. Para isso o leitor deve ter consciência do que está lendo e para que está lendo e envolver-se com o texto. Ler, como um ato de estudar, não é um simples passatempo, mas uma tarefa séria, em que os leitores procuram classificar as dimensões opacas de seu estudo.

Segundo Azeredo (1982) "Se fizer com que os alunos leiam algum texto e depois criar em sala de aula condições de discussão e



conversação sobre a leitura, o professor poderá obter resultados positivos com relação a objetivos efetivos”.

Ela completa a idéia afirmando que os resultados, com relação a objetivos instrucionais, também são positivos. O professor não pode se prescindir da discussão e da conversação sobre os textos propostos com os alunos no decurso do estudo.

A leitura, em ciência, tem papel importantíssimo. O professor deve oferecer oportunidades para que o aluno desenvolva habilidades de leitura crítica, seletiva, de tal forma que ele consiga ler informação e literatura científica em geral, de uma perspectiva correta, sendo muito claro no PCN.

Zanetic (1997) mostra a possível integração no ensino de Física com a literatura universal, enfatizando a aprendizagem conceitual e estimulando a continuidade do interesse por temas científicos ao longo da vida.

Silva (1997) descreve uma experiência relacionada com textos alternativos no ensino de Física, onde são relatados aspectos da construção de um fazer pedagógico. O relato foi dividido em partes, onde uma delas ele descreve sua experiência como professor de física, onde se passa de uma euforia inicial para uma posterior insatisfação devido ao aparecimento de dificuldades como a complexidade em sala de aula, a deficiência de material didático, a preocupação com a quantidade de conteúdo a ser ensinado e não com a qualidade, além do processo de avaliação dos alunos. Para resolver este problema, utilizou-se textos alternativos, visando estabelecer uma relação mais dialógica com os alunos,



além de conceber de forma diferente tanto o espaço da sala de aula quanto o papel do professor.”



CAPÍTULO III

ENSINO DE MECÂNICA QUÂNTICA

A inserção de tópicos de Mecânica Quântica no ensino de Ciências se dá devido à crescente influência destes conteúdos para o entendimento do mundo criado pelo homem. Ostermann e Moreira (2000) destacam as seguintes razões, dentre inúmeras, para a introdução de tópicos contemporâneos no Ensino Médio:

- O estudante não tem contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não vêem nenhuma Física além de 1900.
- Despertar a curiosidade dos estudantes e fazê-los reconhecer a Física como um empreendimento humano, portanto próxima a eles.
- Atrair jovens para a carreira científica.
- Os estudantes hoje ouvem falar de temas como buracos negros e big-bang em vários meios de comunicação como a televisão ou em filmes de ficção científica, mas jamais nas classes de Física.
- O ensino de temas atuais na Física pode contribuir para transmitir aos alunos uma visão mais correta dessa ciência e

da natureza do trabalho científico, superando a visão linear, notadamente cumulativa do desenvolvimento científico que impregna os livros textos.

De maneira geral são três as propostas metodológicas mais representativas para que este modelo seja revisado:

1. a exploração dos limites dos modelos clássicos.
2. a não utilização de referências dos modelos clássicos.
3. a eleição de tópicos essenciais; somente uns poucos conceitos de Física moderna e contemporânea devem ser ensinados no Ensino Médio, com apoio na Física Clássica.

Ostermann e Moreira (2000) apresentam uma revisão de literatura sobre a linha de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. Encontram-se relatos de trabalhos e resultados da aplicação de conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio. Verificou-se que há grande variedade de literatura a respeito de questões metodológicas sobre o ensino de Física Moderna nas escolas, embora haja muitas divergências sobre a escolha de quais tópicos deveriam ser ensinados nas escolas e quais temas deveriam ter atenção especial na formação de professores para que houvesse perfeita adequação no Ensino Médio. Os autores sugerem também uma lista de conteúdos a serem ministrados.

A abordagem da Física Quântica no Ensino Médio se justifica se a concebermos também como uma importante forma de produção cultural do



século XX e que, portanto, deve ser contemplada. A inserção de tópicos de Física Moderna neste nível de ensino vem sendo defendida por muitos pesquisadores.

A ênfase para a necessidade de se reestruturar os conteúdos escolares de Física em favor da Física Contemporânea se deve ao fato de que várias propostas nesse sentido têm se tornado bastante freqüente nas últimas décadas, mas pouco tem sido feito para que estas propostas cheguem às salas de aula e aos professores. Todavia, não se defende o acréscimo da Física Quântica nos mesmos moldes, conteúdos e forma em que a Física Clássica é ensinada nas escolas atualmente. A proposta é reduzir os conceitos mais difíceis em termos simples, com aproximação aos conceitos do dia a dia. O grau de maturidade intelectual dos alunos do Ensino Médio não é fator limitante para o aprendizado de conceitos da Teoria Quântica, pois eles podem ser ministrados de forma acessível a essa faixa etária.

Cavalcante e Tavolaro (2001) mostram que é possível discutir os fundamentos de Física Moderna no Ensino Médio a partir do estudo do comportamento dual. e, idealizaram materiais didáticos de baixo custo voltado à realidade brasileira, os quais foram apresentados a professores e alunos através da realização de várias oficinas. O equipamento permitiu, através de uma metodologia adequada, executar uma série de experiências que busca atender a uma melhor compreensão dos fenômenos de interferência e difração, bem como o comportamento corpuscular da radiação, fornecendo a base para o entendimento adequado do princípio da dualidade e, conseqüentemente, um amplo panorama da Física deste século.



Pode-se explicar a visão do comportamento dual da luz baseado na versão de Niels Bohr em seu princípio da complementaridade usando a seguinte analogia:

“Uma foto que tenha sido tirada de uma pessoa com uma paisagem de fundo. Se você focalizar a pessoa perderá a nitidez da paisagem, mas se focalizar a paisagem de fundo, obrigatoriamente perderemos a nitidez da fisionomia da pessoa.” (CAVALCANTE e TAVOLARO, 2001, p.314).

Segundo Cavalcante e Tavolaro (2001), filosoficamente, a realidade tem duas faces complementares, pode-se ter uma visão compreensível do todo, mas detalhando-se algumas partes, perde-se detalhes, proporcionalmente, em outras.

No trabalho citado os alunos podem ter a inserção em qualquer área do conhecimento no tempo e no espaço, permitindo o contato com inovações tecnológicas do século XX e a sua relação como cotidiano do homem.

Segundo Mashhadi (1996) houve um aumento considerável em questões que se referem à pesquisa em ensino nesta área. Por exemplo: Física Quântica deve ser ensinada em nível pré-universitário? No século XXI a Física ensinada na escola ainda é essencialmente a Física Newtoniana, isto é, a Física Clássica. A visão de mundo newtoniana ainda domina a cultura, apesar de estar superada pela teoria da Relatividade e pela Mecânica Quântica. As características newtonianas de espaço, tempo, matéria e causalidade estão, profundamente, imersas na nossa percepção da realidade, determinando aspectos da maneira de

pensar sobre a vida. Argumenta-se que a sociedade em geral é privada culturalmente devido à ignorância dos conhecimentos da Física do século XX. A preocupação em reverter este quadro é freqüentemente debatida em todo o mundo (DUCK, 2000).

Em estudo feito por Andrés (2000), em diferentes regiões da Venezuela, com alunos participantes de uma olimpíada de Física, verificou-se que os estudantes de nível médio interessaram-se por tópicos de eletricidade, eletrônica e Física Moderna, independente do contexto e, em menor grau, por óptica. O tópico *mecânica* não apresentou tanto interesse, embora seja a área que mais se trabalha em nível médio.

Em relação ao contexto, encontrou-se alto interesse pelos conteúdos de Física relacionados ao desenvolvimento tecnológico e as implicações deste na preservação da sociedade. Exemplifica-se o uso para fins pacíficos ou por seu impacto na qualidade de vida da sociedade como a saúde e o ambiente.

O que não ocorre, de maneira geral, na escola é que se estabelecem poucas relações entre os conceitos da disciplina e a tecnologia. Uma das implicações práticas que se pode realizar no campo do Ensino de Ciências, entre outros, dado o alto interesse que despertam alguns temas, como Física Moderna, é incorporá-los nos currículos do nível de educação básica e secundária como relevantes e relacioná-los às implicações de ordem tecnológica e social.



Robblee (2001) investigou o relacionamento entre o conhecimento do conteúdo pedagógico dos professores de Química e suas estratégias de ensino para a incorporação de modelos de computador no ensino da Mecânica Quântica. O “*Quantum Science Across Disciplines*” (QSAD) é um projeto da *National Science Foundation* para desenvolver software e material instrucional, baseado na idéia de que fenômenos quânticos são críticos para o entendimento do mundo ao nosso redor e estão presentes em vários conceitos nas áreas da Física, Química e Biologia. O projeto QSAD inclui desenvolvimento de simulação computacional, através de visualização científica na investigação de propriedades de átomos e moléculas, objetivando alterar o meio ambiente da classe para que estudantes tenham maior oportunidade de explorar a Ciência e tornar-se familiarizado com o processo científico.

Embora o software QSAD ofereça um método potencialmente eficiente para ensinar e aprender Ciência, algumas variáveis externas podem influenciar na eficácia deste material. Partiu-se da premissa de que o conhecimento dos conteúdos dos professores em Mecânica Quântica é um fator crítico e afeta o uso do software em sala de aula. A pesquisa foi baseada nos professores que participaram de um workshop intensivo de verão na Universidade de Boston. Mapas conceituais e entrevistas identificaram mudanças no conhecimento do conteúdo de Mecânica Quântica entre os participantes. O resultado foi uma grande confiança em ensinar conceitos da Mecânica Quântica para seus alunos, indicando que a disponibilidade de modelos computacionais



possibilita maior entendimento dos conceitos abstratos da Mecânica Quântica, tornando-os mais concretos e compreensíveis.

Seis professores foram observados por períodos de quatro a cinco meses para obter uma linha base de dados. Os dados apresentados são de um professor que ensina Química em uma escola pública no subúrbio de Boston. A premissa básica é que diferentes conceitos requerem diferentes estratégias. Para isso, usaram diferentes estratégias, como o uso de analogias e metáforas.

Hurwitz et al (2001) analisaram a relação entre conceitos quânticos em Química alcançados por alunos de uma escola secundária localizada em um subúrbio de Boston. O estudo, através de um programa instrucional, que inclui investigação baseada na aprendizagem, mapas conceituais e o uso de simulação interativa de fenômenos quânticos em Química. Os alunos puderam apresentar alguns conceitos em Química Quântica.

A seguir os pesquisadores compararam o efeito dos métodos tradicionais de instrução, isto é leitura e laboratórios, com o uso da descoberta do estudante empregando uma variedade de métodos incluindo simulação, computador, nas concepções alternativas dos estudantes em Química Quântica.

Os estudantes de Química participantes vieram de três classes de uma escola superior de um subúrbio de Boston. Duas classes de dezessete alunos usaram materiais e métodos novos e três alunos de uma outra classe usaram métodos tradicionais para comparação.



A maioria dos estudantes da classe experimental mudou para um modelo científico mais apropriado, quando confrontados com um problema onde a solução é dificultada e são utilizados velhos modelos na explicação.

Em seu artigo, Zollman et al (1999) citam que a Física Moderna requer o uso adequado de modelos e um profundo entendimento conceitual de suas idéias abstratas. Entretanto encontramos somente informação limitada relacionada à maneira como os estudantes têm adaptado a estrutura conceitual a assuntos não clássicos de Física Moderna. Realizou-se um estudo piloto investigando os aspectos do conhecimento conceitual e os modos de mudança de visão dos estudantes em relação à estranha realidade descrita pela Física Quântica. A maioria dos estudantes tinha completado um curso de Física Quântica.

Um pré-teste indicou que o entendimento conceitual deles não estava em nível adequado. Um ensaio experimental foi usado para examinar o impacto do ensino enfatizando conceitos. A um grupo experimental foram atribuídas três leituras especiais sobre conceitos e modelos. Um dos testes foi utilizado para investigar como a visão de modelo dos estudantes, e o entendimento conceitual geral foi modificado. O grupo experimental apresentou um significativo aperfeiçoamento no entendimento dos conceitos quânticos e uma convergência para uma visão de especialista.

Fischler (1999), pesquisador da Universidade livre de Berlim, Alemanha, discute e defende o ensino de Mecânica Quântica sem a utilização de referência aos modelos clássicos. Uma introdução de Física Quântica foi feita, e omitiu-se toda a analogia à Física Clássica, pois para ele o modelo de Bohr, uma



vez aprendido, dificulta o entendimento de conceitos quânticos. Tendo como base este referencial, o autor sugere uma abordagem de Mecânica Quântica no Ensino Médio. Referências à Física Clássica devem ser evitadas, o ensino deveria primeiro iniciar com elétrons. Para explicar os fenômenos deveria ser usada a interpretação estatística e evitada a dualista. A relação de incerteza de Heisenberg deveria ser introduzida no começo e formulada para objetos quânticos.

Quando tratar do átomo de hidrogênio, o modelo de Bohr deve ser evitado. Esta unidade de ensino foi utilizada em onze cursos de Física de diversas escolas secundárias em Berlin, no total de 270 estudantes, sendo 150 – o grupo teste – usando a nova unidade de ensino e 120 – o grupo controle – com ensino na linha costumeira, para o autor o resultado foi satisfatório.

Pinto e Zanetic (1999) analisaram se era possível levar Física Quântica para o Ensino Médio. Perceberam que a Física Moderna deve ser inserida neste nível de ensino, não como mera curiosidade, mas como uma Física que surge para explicar fenômenos que a Física Clássica não explica, levando a uma nova visão de mundo. Deve-se adotar uma abordagem ampla, para satisfazer aos diferentes alunos, isto porque o aluno tem uma história de vida e diferentes aptidões.

Alguns problemas são destacados pelos autores como o formalismo matemático, distanciamento da Física Clássica e o tratamento experimental dos temas quânticos, além disso, estes novos conteúdos não poderiam ser simplesmente acrescentados aos temas tradicionalmente presentes no Ensino Médio e trabalhados de forma tradicional. É necessário que haja uma



abordagem diferenciada. Para isto os autores realizaram um mini curso sobre a natureza dual da luz propondo a introdução cultural e conceitual, analisando a utilização de diferentes interpretações da História e Filosofia da Ciência como estratégia de ensino em classes de segundo ano do Ensino Médio de uma escola estadual de Guarulhos. O mini curso teve duração de doze aulas de quarenta minutos. Analisaram-se as notas de aula e observou-se o uso de analogias pelo professor como no trecho descrito para explicar a passagem da luz pelo vidro:

“Para trabalhar a situação utilizamos uma idéia parecida com a minhoca atravessando a terra. Assim parte da luz passa através do vidro abrindo pequenos furos, como uma pedra caindo na água e parte é refletida pelas moléculas de vidro”. (PINTO e ZANETIC, 1999, p.30).

Os autores concluem que os alunos aprenderam pouco de Física Quântica, no entanto os alunos mantiveram contato e não deixaram de ser apresentados aos conhecimentos desenvolvidos no século XX e que é possível inserir a Mecânica Quântica no Ensino Médio.

Terrazzan (1992) sugere alguns parâmetros para a inserção da Física Moderna no ensino de segundo grau. Ele discute a divisão da Física nos currículos, dizendo que é inadequada a nossa realidade, pois a divisão aceita é ditada pelos manuais estrangeiros do século XIX.

É inconcebível que um aluno saia do segundo grau sem ter contato com os descobrimentos do século XX. Para haver a mudança é necessário



o envolvimento de professores do Ensino Médio, de pesquisadores para debater e estabelecer as formas para abordar tais conteúdos nesse nível de ensino.

A seleção dos conteúdos deve-se basear no equilíbrio entre as necessidades que a própria ciência física impõe, para que haja consistência na apresentação dos tópicos, privilegiando as leis gerais, conceitos fundamentais, e tópicos que exigem pouco conhecimento matemático.

Para grande maioria dos alunos, a Física ensinada no segundo grau será o único contato, na sua escolarização formal com esta ciência. O cotidiano dos alunos assume papel fundamental, na hora de definir a forma de abordagem e os conteúdos previamente definidos. Terrazan (1992) sugere uma metodologia de trabalho que apresente um modelo de pesquisa/ação ou pesquisa/participante.

Ostermann (1999) elabora um material didático com forma de pôster criado a partir da tradução e adaptação de materiais do *Contemporary Physics Education Project* para a introdução de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio com o tema: *partículas elementares e interações fundamentais*.

Apesar de ser ampla a bibliografia e de haver recursos didáticos em inglês sobre o tema, em português são escassos, daí ser um obstáculo para a inserção. O pôster é acompanhado de um texto, relacionado ao assunto, elaborado pela autora.

Batista (2003) investiga a formação de professores de Física no que diz respeito à Física do século XX e contemporânea. Verificou-se que os

professores atuantes na rede pública da região centro-norte do Paraná, pouco aprenderam em sua formação inicial do conteúdo referente ao estudo. Os professores investigados utilizam como fonte de consulta para o preparo de suas aulas basicamente o livro didático. Desse modo os professores sentem necessidade de constante aperfeiçoamento dos livros didáticos e paradidáticos sobre esse novo conteúdo.

Na área das concepções alternativas, acerca dos tópicos de Física Moderna, o reduzido número de publicações gira sobre os erros conceituais dos livros textos e de informações veiculadas pela mídia.

Segundo Freire Jr. e Carvalho Neto a inserção da Mecânica Quântica no Ensino Médio através de livros paradidáticos ressaltam a importância da História da Física Quântica.

“Quase todos os físicos de destaque do século XX, entre os quais Planck, Einstein, Bohr, De Broglie, Heisenberg, Schrödinger, Dirac, Born, Pauli e Feynman, têm o nome, de algum modo, associado à Física dos Quanta. Conhecer e compreender a Física Quântica tem atraído, e mesmo apaixonado, profissionais tão diversos quanto cientistas, filósofos, historiadores, advogados e artistas. Um conhecimento mínimo dessa ciência é indispensável para ao que denominamos de alfabetização científica do cidadão”. (FREIRE JÚNIOR e CARVALHO NETO, 1997, p. 6).

Os trabalhos muitas vezes são densos e demandam conhecimentos prévios que, em geral, professores e pesquisadores de Ensino Médio, pesquisadores em ensino e não especialistas na área não possuem, daí a

necessidade de textos que abordem o tema com maior criatividade e comprometimento com a melhoria da qualidade.

Através dos trabalhos realizados em sala de aula para a inserção de Mecânica Quântica no Ensino Médio, verificou-se a possibilidade de êxito, surgindo algumas divergências em relação à questão metodológica.



CAPÍTULO IV

BREVE HISTÓRICO DA MECÂNICA QUÂNTICA

1 INTRODUÇÃO

Pouco antes do fim do século XIX, alguns físicos perceberam que todos os princípios da Física tinham sido descobertos e poucos restavam para que fosse possível solucionar alguns problemas secundários: como desenvolver as técnicas existentes para sistemas complexos ou melhorar métodos experimentais com a intenção de "investigar a próxima casa decimal". Esta atitude foi justificada pelos avanços alcançados pela Física naquela época.

Os trabalhos de Newton foram colocados em um alto nível de sofisticação prática e teórica pelo trabalho de Lagrange e Hamilton, resultando na teoria matemática da elasticidade e hidrodinâmica. A equivalência do trabalho mecânico e calor tinham sido demonstrados claramente pelos experimentos de Count Rumford e Joule, e Carnot que formularam a segunda lei da Termodinâmica. Este trabalho foi seguido pelo desenvolvimento completo da termodinâmica de Gibbs, que é apresentado de forma inalterada em todo curso da Físico-Química atual.



A teoria cinética dos gases e a mecânica estatística foram formuladas a um elevado grau de refinamento por Maxwell, Boltzmann e Gibbs levando, por exemplo, à distribuição de Maxwell-Boltzmann da velocidade molecular e suas conseqüências na Cinética Química. O campo da óptica também obteve grandes avanços como efeito dos primeiros trabalhos de Young e Fresnel, resultando em uma aceitação geral da teoria de onda sob a teoria corpuscular da luz. Uma controvérsia sob a luz se é ondulatória ou corpuscular tinha sido intensa desde a época de Newton, que tinha proposto a teoria corpuscular, e Huygens, que propôs a teoria de onda.

A primeira metade do século XIX foi um período intenso de descoberta dos efeitos magnéticos e elétricos, melhor exemplificado pela brilhante carreira de Michael Faraday e a completa unificação de algumas observações experimentais por Maxwell, que não fez apenas previsão da natureza eletromagnética da luz ao uniformizar os campos da óptica, eletricidade e magnetismo, mas sua subsequente demonstração experimental por Hertz em 1887.

Segundo McQuarrie (1983) o corpo destas realizações é agora considerado o que chamamos de “Física Clássica”. A Física entrou num período de crescimento e descobertas profundas cujos efeitos têm implicações não somente nos campos da química, biologia e engenharia, mas na tecnologia e política também. O início do século XX viu o nascimento da teoria da relatividade e da Mecânica Quântica. A teoria da relatividade de Einstein alterou completamente nossas idéias de espaço e tempo e é uma extensão da Física Clássica para a zona de altas velocidades e distâncias astronômicas. Por outro



lado, a Mecânica Quântica foi desenvolvida por algumas pessoas em várias décadas e é uma extensão da Física Clássica para tamanhos e distâncias subatômicos, atômicos e moleculares. A teoria da relatividade e a teoria dos quanta constituem o que hoje é chamado de Física Moderna.

A teoria da relatividade tem desempenhado intenso papel no cotidiano através do conceito de equivalência de massa e energia e sua manifestação através da energia nuclear, embora não desempenhe um importante papel no campo da química. Entretanto, a Mecânica Quântica em relação à zona molecular e atômica tem desempenhado papel importante na Química, tanto que um curso introdutório em Mecânica Quântica e suas aplicações na química, com frequência chamada de Química Quântica, é parte integrante de qualquer currículo de Química.

O dia a dia seria bem diferente sem a Mecânica Quântica, pois não conheceríamos inúmeros objetos com os quais se lida corriqueiramente na atualidade. Para se ter uma idéia pode-se mencionar o nosso aparelho de CD, o controle remoto das TVs, os aparelhos de ressonância magnética em hospitais ou até mesmo o micro computador. Todos os dispositivos eletrônicos usados em equipamentos da chamada alta-tecnologia só puderam ser projetados porque se conhece a Mecânica Quântica.

Voltando aos últimos anos do século XIX, vê-se quais foram os eventos que marcaram o mundo da Física. Os subitens a seguir são baseados na obra de McQuarrie (1983).



2 J.J. THOMSON, O DESCOBRIDOR DO ELÉTRON

No tardar de 1.800, as técnicas do processo de fabricação do vidro tinham alcançado o ponto onde se tornou possível selar eletrodos metálicos em tubos de vidro e evacuar estes tubos em baixas pressões. Usando apenas um aparato, chamado de tubo de Crooke, podia-se aplicar uma voltagem através de eletrodos e estudar o efeito da diminuição da pressão de gás. Antes da evacuação do tubo selado, um aumento da voltagem resultava em uma faísca passando entre os eletrodos. Assim que a pressão era diminuída, a faísca é substituída por um feixe de luz "luminoso" entre os eletrodos.

Em 1897, o físico britânico J.J. Thomson mostrou que um feixe de luz que deixa o catodo, também chamado de raios catódicos, consiste de um feixe de luz negativamente carregado e descontínuo de partículas. Colocando este feixe de luz entre um campo elétrico e magnético, ele foi capaz de medir a relação carga/massa das partículas, o valor aceito foi de 1.7588×10^{11} coulombs/quilogramas (C. Kg^{f1}).

Thomson calculou que a carga do elétron é de aproximadamente de 1×10^{-19} C e a massa é de aproximadamente 6×10^{-31} Kg. Embora a medida da carga e massa de Thomson fossem seguramente precisas, a determinação na carga



estava errada em 50%. Apesar do erro, mostrou que um elétron era uma partícula subatômica.

J.J. Thomson (Joseph John) 1856-1940, estudou engenharia na Faculdade Owens, onde desenvolveu interesse nas ciências. Em 1876, foi para a Universidade de Cambridge, com bolsa de estudos e permaneceu lá para o resto de sua vida. Em 1884, substituiu Lord Rayleigh como professor de Física e Diretor do Laboratório em Cavendish. Thomson foi um excelente professor e administrador. Os vencedores de sete prêmios Nobel foram treinados por Thomson em Cavendish. Em 1919, afastou-se do cargo de diretor em favor de Ernest Rutherford, em parte por causa da falta de simpatia pela nova Física de Niels Bohr. Thomson foi vencedor do prêmio Nobel de Física em 1906.



Figura 1 - J.J. Thomson (1856 - 1940).

Após mais ou menos 10 anos, o físico americano R.A. Millikan aperfeiçoou a determinação da carga eletrônica, obtendo 1.60×10^{-19} C, em contraste com o valor moderno de 1.6022×10^{-19} C. Embora estes experimentos não levassem imediatamente à realização da insuficiência da Física Clássica, a descoberta do elétron e a descoberta dos Raios-X por Röntgen, em 1895, e a radioatividade por Becquerel, em 1896, mostraram que o átomo era mais complexo do que se tinha pensado previamente. Foi um grande desafio para a Física Clássica fornecer uma estrutura para o átomo, mas este foi um desafio que nunca avançou.

3 RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

As sucessões de experimentos que revolucionou os conceitos da Física vieram do estudo da radiação dos corpos quando eles são excitados. Sabe-se, por exemplo, que quando o bico de gás de um fogão é aceso, primeiro mostra uma cor vermelha e, progressivamente, se torna mais e mais vermelho, quando a temperatura cresce. Sabe-se também que, enquanto um corpo é aquecido a radiação torna-se branca e a medida que a temperatura aumenta, esta torna-se azul. Desta maneira vemos que existe um deslocamento contínuo na cor de um corpo aquecido indo do vermelho até o branco, podendo chegar até o azul se o corpo é aquecido a uma temperatura mais alta ainda.



Em termos de frequência a radiação emitida vai de frequências baixas para altas frequências a medida e a temperatura aumenta, porque a cor vermelha está numa região de frequência do espectro mais baixa que a cor azul.

A frequência exata do espectro emitida depende de cada corpo, mas um corpo ideal, que absorve e emite todas as frequências é chamado de corpo negro e serve como idealização para qualquer material radiativo. A esta radiação emitida por um corpo negro chama-se de radiação do corpo negro.

Uma parte da intensidade de radiação do corpo negro versus a frequência de várias temperaturas é apresentada na Figura 2. Alguns físicos teóricos tentaram deduzir expressões consistentes com a intensidade experimental versus frequências, mas foram todos mal sucedidos.

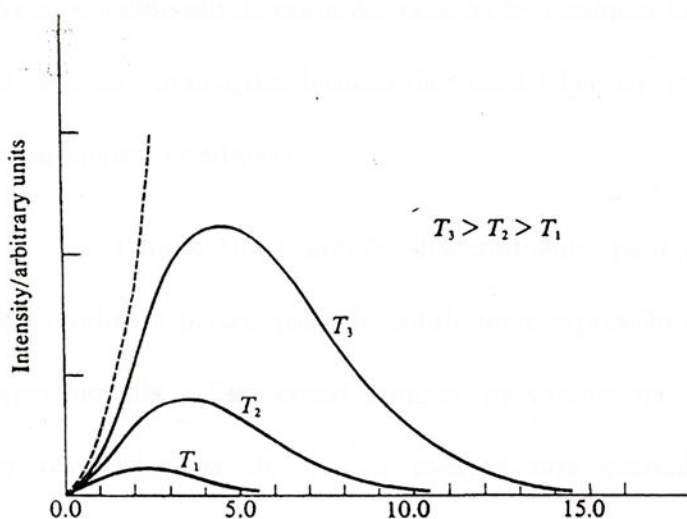


Figura 2 - A distribuição da intensidade da radiação do corpo negro como função de frequência para várias temperaturas.

4 HIPÓTESE DE PLANCK PARA A RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

A primeira pessoa a apresentar uma explicação bem sucedida da radiação do corpo negro foi o físico alemão Max Planck, em 1900. Como Rayleigh e Jeans antes dele, Planck assumiu que a radiação emitida pelo corpo ocorria devido a oscilações dos elétrons nas partículas constituintes do material. Estes elétrons foram descritos como osciladores em um átomo da mesma maneira que os elétrons oscilam em uma antena gerando ondas de rádio. No caso da antena atômica, as oscilações ocorrem em uma frequência muito mais alta e, conseqüentemente, obtêm-se frequências nas zonas visíveis, infravermelhas e ultravioletas mais do que nas regiões de rádio do espectro. Implícita na derivação de Rayleigh e Jeans está a suposição de que a energia dos osciladores eletrônicos, responsáveis pela emissão da radiação, poderia ter qualquer valor. Esta suposição, de fato, é uma das suposições básicas da Física Clássica, isto é, as observáveis podem tomar valores contínuos.

Planck tinha grande discernimento para perceber que devia mudar este modo de pensar para descobrir uma expressão que reproduzisse os dados experimentais. (Tais como aqueles mostrados na Figura 2). Criou a suposição revolucionária de que a energia dos osciladores tinha de ser proporcional a um múltiplo inteiro da frequência ou que $E = nh\nu$, onde n é um número inteiro, h é uma constante de proporcionalidade, e ν é a frequência.



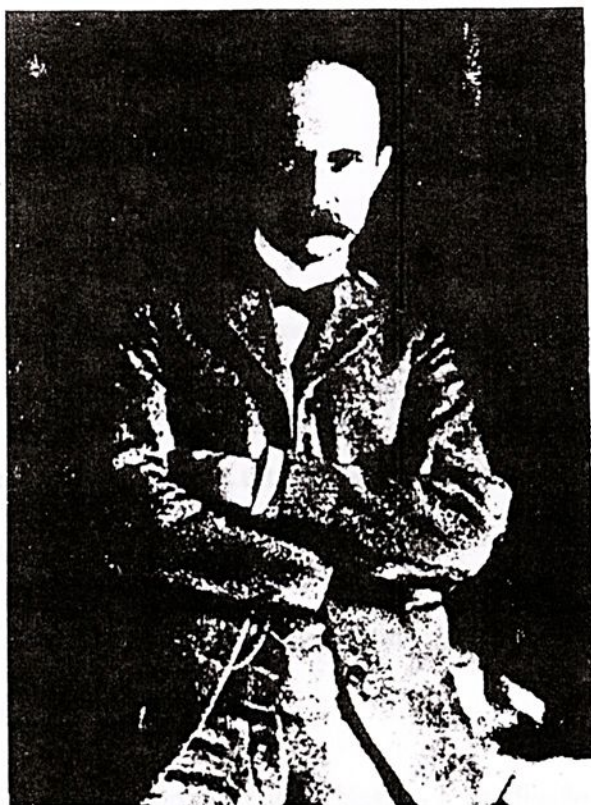


Figura 3: Max Planck (1858-1947)

Max Planck (1858-1947) mostrou talento precoce na música e nas ciências, recebeu o Ph.D na Universidade de Munique em 1879 em Física Teórica. Em 1888 foi indicado diretor do Instituto de Física Teórica, que foi fundado por ele, na Universidade de Berlim. Foi presidente da Sociedade Kaiser Wilhelm, de 1930 até 1937 quando foi forçado a se aposentar pelo governo nazista, mais tarde foi renomeada Sociedade Max Planck. Recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1918. A vida pessoal de Planck foi repleta de tragédias. Suas duas filhas morreram no nascimento, um de seus filhos morreu na 1ª Guerra

Mundial e um outro foi executado na 2ª Guerra Mundial, por ter participado do atentado para assassinar Hitler em 1944.

5 O EFEITO FOTOELÉTRICO

Em 1886 e 1887, enquanto Heinrich Hertz estava executando os experimentos que confirmaram a teoria da natureza eletromagnética da luz, de Maxwell, Hertz descobriu que a luz ultravioleta causava a emissão de elétrons de uma superfície metálica.

Duas observações experimentais do efeito fotoelétrico estão em total contraste com a teoria clássica da luz.

De acordo com a Física Clássica, a irradiação eletromagnética é um campo elétrico oscilando perpendicularmente na sua direção de propagação, e a intensidade da radiação é proporcional a área do campo elétrico. Quando a intensidade cresce, cresce a amplitude da oscilação do campo elétrico. Os elétrons, na superfície do metal, oscilam junto ao campo e, assim que a intensidade (amplitude) cresce, os elétrons oscilam mais violentamente e eventualmente escapam da superfície com uma energia cinética que depende da amplitude (intensidade) do campo. Este modelo clássico está em completa divergência com as observações experimentais. Além disso, este modelo aponta que o efeito fotoelétrico deveria ocorrer para qualquer frequência da luz, desde que a intensidade fosse suficientemente intensa. O fato experimental, entretanto, é



que existe uma frequência limiar V_0 , característica da superfície metálica, onde os elétrons são ejetados. Neste V_0 a energia cinética dos elétrons ejetados é proporcional à frequência ν , uma contradição um tanto embaraçosa da teoria clássica.

Antes de se discutir a explicação de Einstein sobre o efeito fotoelétrico, deve-se antes discutir como medir a energia cinética dos elétrons. Se os elétrons forem conduzidos em direção a uma carga negativa de eletrodo diminuirão a velocidade porque estão trabalhando contra o potencial elétrico. Se os elétrons forem conduzidos em direção a um eletrodo negativo, eles diminuirão a velocidade porque estão indo contra um potencial elétrico. Se o potencial elétrico é continuamente crescente, os elétrons eventualmente irão parar completamente. Neste caso, a energia cinética inicial dos elétrons é igual à energia potencial.

Para explicar estes resultados, Einstein utilizou a hipótese de Planck, mas a prolongou para um importante caminho. Voltando-se para Planck, em seu conceito de energia de quantização, tomou $\Delta\varepsilon = h\nu$ para a emissão e mecanismos de absorção dos osciladores do átomo eletrônico. Acreditava que se a energia fosse emitida, ela agiria como uma onda clássica. Einstein propôs, em seu lugar, que a radiação é constituída de pequenos pacotes de energia, $E = h\nu$, que são hoje conhecidos como fótons. Usando um argumento simples de conservação de energia, mostrou que a energia cinética dos elétrons ejetados ($mv^2/2$) é igual a energia da radiação ($h\nu$) menos a energia mínima necessária para remover um elétron da superfície do metal (ϕ):



$$mv^2/2 = hv - \phi$$

Onde ϕ , chamado função trabalho do metal, é similar a uma energia de ionização. O lado esquerdo da equação acima não pode ser negativo, e nos mostra que $hv \geq \phi$. A frequência mínima que ejetará um elétron.

6 O ESPECTRO DO ÁTOMO DE HIDROGÊNIO

A teoria de Bohr, teoria da estrutura do átomo de hidrogênio é significativa no desenvolvimento da mecânica quântica. A explicação teórica do espectro atômico de hidrogênio veio através do dinamarquês Niels Bohr.

Em 1911, o físico neozelandês Ernest Rutherford, propôs o modelo nuclear do átomo e Bohr, trabalhando no mesmo laboratório, desenvolveu um modelo de incorporação deste novo ponto de vista ao átomo e a condição de quantização de Planck numa teoria bem sucedida do átomo de hidrogênio. De acordo com o modelo nuclear do átomo, o átomo do hidrogênio pode ser descrito como um núcleo central, compacto e com um elétron. Por ser mais compacto do que o elétron, podemos considerar o núcleo fixo e o elétron movendo-se ao redor dele.

Niels Bohr (1885-1962) depois de receber seu PhD na Universidade de Copenhague em 1911, passou um ano com J.J. Thomson e Ernest Rutherford na Inglaterra. Retornou à Universidade de Copenhague, em 1913, onde



permaneceu pelo resto de sua vida. Em 1920, foi nomeado diretor do Instituto de Física Teórica.

Segundo Abdalla, 2002, o Instituto foi um centro para a Física Teórica durante os anos 20 e 30. Depois da guerra, Bohr trabalhou ativamente para usos pacíficos da energia atômica. Organizou, em 1955, a *Primeira Conferência dos Átomos pela Paz* e recebeu o primeiro prêmio *Átomos pela Paz*, em 1957. Recebeu o prêmio Nobel de Física em 1922.



CAPÍTULO V

REFERENCIAL TEÓRICO

O conhecimento humano (idéias, representações, etc.) do mundo e dele mesmo, tal como se apresenta na linguagem da vida real, é patrimônio acumulado pelos homens ao longo da sua história. Ele não emerge espontaneamente nos indivíduos como um produto do seu desenvolvimento biológico ou como simples resultado de respostas comportamentais dadas aos estímulos do meio natural (meio ambiente e progressivamente aprendidas). Pelo contrário, o conhecimento não existe inicialmente no indivíduo, mas na sociedade na forma de práticas sociais. É aqui que cada um vai, pouco a pouco descobrindo o que há muito tempo já foi descoberto pelos outros, tornando seu o que há muito tempo faz parte da existência dos outros (PINO, 2002).

Para justificar o uso da linguagem neste trabalho, têm-se como referencial teórico os trabalhos de Vygotsky (1991). Para este autor, a linguagem tem dupla função: a de comunicação e a de representação constitutiva do pensamento.

O saber humano historicamente produzido e conservado ao longo dos tempos é de natureza semiótica, ou seja, tem uma estrutura simbólica, e todo símbolo é constituído de três componentes básicos: materialidade, realidade e uma significação.

Segundo Vygotsky (1991) há três pontos básicos do pensamento:



1. as funções psicológicas têm um suporte biológico, pois são produtos da atividade cerebral;
2. o funcionamento psicológico fundamenta-se nas relações sociais;
3. a relação homem/mundo é uma relação mediada por sistemas simbólicos;

Os estudos de Vygotsky (1991) sobre aquisição da linguagem como um fator histórico e social enfatiza a importância da interação e da informação lingüística para a construção do conhecimento. Essa perspectiva teórica é especialmente promissora no que diz respeito ao papel da instrução, necessária ao desenvolvimento do aluno, a necessidade da mediação do professor e a complexidade dos processos de conceitualização do aluno.

Em ciências como em Física ou em Química, a produção de conhecimento envolve freqüentemente a formulação, através de palavras e símbolos, de teorias e modelos, com os quais tenta-se representar a realidade (ROMANELLI, 1992, p. 4).

O conhecimento assim produzido é tomado como proposta de estudo e de aprendizagem na escola ou fora dela e este processo pode adquirir características muito complexas, como é o caso dos conceitos em Mecânica Quântica. A instância de ensino aprendizagem que interessa é relativo às noções abstratas.

Segundo Vygotsky (1991), as origens da vida consciente e do pensamento abstrato deveriam ser procuradas na interação do organismo com as condições de vida social, e nas formas histórico-sociais de vida da espécie humana e não, como muitos acreditavam, no mundo espiritual e sensorial do homem. Deste modo, deve-se procurar analisar o reflexo do mundo exterior no mundo interior dos indivíduos, a partir da interação destes sujeitos com a realidade. A origem das mudanças que ocorrem no homem, ao longo do seu desenvolvimento, está, segundo seus princípios, na sociedade, na cultura e na sua história.

O referencial histórico-cultural apresenta uma nova maneira de entender a relação entre sujeito e objeto, no processo de construção do conhecimento. Enquanto no referencial construtivista o conhecimento se dá a partir do sujeito sobre a realidade (sendo o sujeito considerado ativo), para Vygotsky (1991), esse mesmo sujeito não é apenas ativo, mas interativo, porque constitui conhecimentos e se constitui a partir de relações intra e interpessoais, o que permite a constituição de conhecimentos e da própria consciência. O sujeito do conhecimento é interativo.

A criança participa ativamente da construção de sua própria cultura e de sua história, modificando-se e provocando transformações nos demais sujeitos que com ela interagem. A aprendizagem favorece o desenvolvimento das funções mentais, pois o aprendizado adequadamente organizado resulta em desenvolvimento mental e põe em movimento vários processos de desenvolvimento que, de outra forma, seriam impossíveis de acontecer. Vygotsky



(1991) atribui um valor significativo à aprendizagem escolar, pois ela produz algo fundamentalmente novo no desenvolvimento da criança.

O desenvolvimento do pensamento é determinado pela linguagem, isto é, pelos instrumentos lingüísticos do pensamento e pela experiência sócio-cultural da criança. Basicamente o desenvolvimento da fala interior depende de fatores externos: o desenvolvimento da lógica na criança, como os estudos de Piaget demonstraram, é uma função direta de sua fala socializada. O crescimento intelectual da criança depende de seu domínio dos meios sociais do pensamento, isto é, da linguagem (VYGOTSKY, 1991, p 44).

Graças à linguagem, ocorre o enriquecimento da experiência do indivíduo com apoio na experiência de toda a coletividade com que se relaciona, ou seja, os homens têm acesso aos conhecimentos historicamente acumulados, não somente pelo contato imediato com a realidade, mas de maneira mediada pela linguagem.

Segundo Vygotsky (1991), comunicação verbal com os adultos resulta em condições para a criança operar com conceitos, mesmo antes de ter uma consciência clara das operações envolvidas. Vygotsky apoiou-se no desenvolvimento de sua análise em estudos que envolviam uma situação de classificação de objetivos que eram nomeados por palavras sem sentido. No processo inicial de conceitualização, a criança traduz conexões vagas e subjetivas quando opera sobre objetos e fenômenos. Aos poucos a criança os reúne por semelhanças ou usando outras conexões necessárias no nível da percepção, demonstrando um pensamento então dito por "complexos" que, inicialmente, é do tipo associativo. À medida que a criança começa a fazer relações entre os objetos

e fenômenos observados através da experiência cotidiana, seus pensamentos se configuram atuando na formação de um complexo por coleções. Os objetos são agrupados com base em alguma característica que os torna diferentes e, conseqüentemente complementares entre si.

Em seguida a criança compõe um complexo promovendo uma junção dinâmica e consecutiva entre os objetivos unindo-os em um único encadeamento através de elos, formando um complexo em cadeia. Mas não há coerência quanto ao tipo de conexão nesta cadeia relativa ao modo pelo qual cada elo da cadeia articula-se com o que o precede e com o que vem a seguir, sendo que todos eles têm importância equivalente. O complexo em cadeia pode ser considerado como a mais pura forma do pensamento por complexos. Em seguida, a criança passa a ter conexões difusas sendo capaz de transições surpreendentes e de associações e generalizações espantosas, quando o seu pensamento extrapola os limites do pequeno universo palpável de sua experiência. Depois ela atinge a fase do pseudoconceito, pois é a ligação entre os complexos e o estágio final na formação de conceitos.

A criança aprende muito cedo um grande número de palavras. Ela as utiliza assim como o adulto, porém os significados das palavras não são desenvolvidos espontaneamente pelas crianças. Elas terão uma influência do meio e do significado que o adulto tem da palavra. Portanto a comunicação verbal com os adultos é de fundamental importância para a criança desenvolver os seus conceitos infantis, ou seja, os signos e palavras constituem para a criança em primeiro lugar num contato social com as pessoas.



A formação dos verdadeiros conceitos ocorre gradualmente. A criança ainda deve superar a fase dos chamados conceitos potenciais, resultantes do aparecimento de processos de abstração, embora primitivos. Nos adolescentes, os processos intelectuais que envolvem formas de pensamento por complexo vão gradualmente desaparecendo dando lugar à formação dos conceitos verdadeiros. No início, a ocorrência dos verdadeiros conceitos ainda é esporádica, mas depois se torna mais freqüente. Entretanto, aquelas formas elementares ainda vigoram em muitas áreas do pensamento do adolescente mesmo depois de ele ter aprendido a produzir os conceitos (ROMANELLI, 1992, p. 32).

O papel do professor muda radicalmente, a partir dessa concepção. Ele não é mais aquele professor que se coloca como centro do processo, que "ensina" para que os alunos passivamente aprendam; tampouco é aquele organizador de propostas de aprendizagem que os alunos deverão desenvolver sem que ele tenha que intervir. Ele é o agente mediador deste processo, propondo desafios aos seus alunos e ajudando-os a resolvê-los, realizando com eles ou proporcionando atividades em grupo, em que aqueles que estiverem mais adiantados poderão cooperar com os demais. Com suas intervenções estará contribuindo para o fortalecimento de funções ainda não consolidadas, ou para a abertura de zonas de desenvolvimento proximal. Não podemos nos esquecer de que a aprendizagem é fundamental para o desenvolvimento.

A reorganização das experiências de aprendizagem deve considerar o quanto de colaboração o aluno ainda necessita, para chegar a



produzir determinadas atividades, de forma independente. Desta forma o professor poderá avaliar, durante o processo, não somente o nível das propostas que estão sendo feitas, mas, sobretudo, o nível de desenvolvimento real do aluno - revelado através da produção independente - bem como seu nível de desenvolvimento proximal - onde ainda necessita de ajuda. Chega-se, assim, a um conhecimento muito maior da realidade do aluno, do "curso interno de seu desenvolvimento" (Vygotsky, 1991), tendo condições de prever o quanto de ajuda ainda necessita, e como se deve reorientar o planejamento para apoiar este aluno.

Para que todo este processo tenha condição de se consolidar, o diálogo deve permear constantemente o trabalho escolar, pois a linguagem é a ferramenta psicológica mais importante.

Conhecemos bem a função comunicativa da linguagem, que permite ao homem vivenciar um processo de interlocução constante com seus semelhantes. No entanto, a linguagem não exerce apenas o papel de instrumento de comunicação. Ela permite ao homem formular conceitos e, portanto, abstrair e generalizar a realidade, através de atividades mentais complexas.

A formação de conceitos é o resultado de uma atividade complexa, em que todas as funções intelectuais básicas tomam parte. No entanto, o processo não pode ser reduzido à atenção, à associação, à formação de imagens, à inferência, ou palavra, como meio pelo qual conduzimos as nossas operações mentais, controla o seu curso e as canalizamos em direção à solução do problema que enfrentamos (VYGOTSKY 1991, p. 50).

Através da palavra designam-se objetos, representa-se, mas, também, abstrai-se e generalizam-se suas características. A função de

generalização garante a comunicação entre pessoas. Isto porque, quando se comunica com outras pessoas, ou durante uma conversa, faz-se referência a determinado objeto, mesmo que o interlocutor não faça a mesma imagem que se esta fazendo. O entendimento ocorre, pois se mantém preservada a sua característica essencial. Essa capacidade de generalizar e abstrair, incluindo os objetos, outros seres, ou mesmo ações, em determinadas categorias, libera-nos dos limites da experiência concreta. Não se necessita estar em contato direto com o objeto, para conversar sobre ele.

Um conceito é mais do que a soma de certas conexões associadas formadas pela memória é mais do que um simples hábito mental: é um ato real e complexo de pensamento que não pode ser ensinado por meio de treinamento, só podendo ser realizado quando o próprio desenvolvimento mental da criança já tiver atingido o nível necessário.

Assim o desenvolvimento conceitual não ocorre de forma definitiva, mas de forma gradual, pois depende do desenvolvimento de muitas outras funções intelectuais e não pode ser obtido apenas com uma aprendizagem inicial.

A evolução dos conceitos científicos não nega a existência de um processo de desenvolvimento na mente da criança em idade escolar, no entanto, segundo tal concepção esse processo não difere, em nenhum aspecto, do desenvolvimento dos conceitos formados pela criança em sua experiência cotidiana, e é inútil considerar os dois processos isoladamente.



Os dois processos: o desenvolvimento de conceitos espontâneos e não espontâneos se relacionam e se influenciam, sendo um processo unitário, que é afetado por condições externas e internas, sendo o aprendizado uma das principais fontes de conceitos da criança em idade escolar.

Vygotsky (1991) investigou dois tipos de conceitos: os conceitos "cotidianos" e os conceitos "científicos". Por conceitos cotidianos ele compreende aqueles que durante seu processo de desenvolvimento, a criança vai formulando na medida em que utiliza a linguagem para nomear objetos e fatos, presentes em sua vida diária. Ao falar, ela vai referindo-se à realidade exterior e, quanto mais interage, dialogicamente, com seus semelhantes, mais vai se distanciando de uma fase em que o conceito está diretamente ligado ao concreto, para tornar cada vez mais abstrata a forma de generalizar a realidade. Por exemplo, a criança quando bem pequena, para falar de um carro, tem de estar diante dele, mas, aos poucos, vai se distanciando desta situação, em que o nome faz parte do objeto para se referir a ele, ou seja, é possível falar de um carro mesmo que não esteja diante de um.

Por conceitos científicos, Vygotsky considerou aqueles formados a partir da aprendizagem sistematizada e, portanto, a partir do momento em que a criança se defronta com o trabalho escolar. Os conceitos científicos são todos aqueles que derivam de um corpo articulado de conhecimento e que aparecem nas propostas curriculares, como fundamentais na organização de conteúdos a serem trabalhados com os alunos.



Essa aprendizagem gerada pela instrução "É uma das principais fontes de conceitos da criança em idade escolar, e é também uma poderosa força que direciona o seu desenvolvimento, determinando o destino de todo o seu desenvolvimento mental" (VYGOTSKY, 1991, p. 74).

Segundo Martins (2002), a instrução deve estar sempre voltada para o futuro e não para o passado, enfatizando o papel da cooperação no desenvolvimento psíquico através da imitação e do ensino. Para Vygotsky a aprendizagem da criança começa antes da aprendizagem escolar e a criança é dependente das pessoas que a cercam.

O adolescente tem dificuldade para penetrar no universo dos conceitos científicos. Existe uma discrepância muito grande entre a capacidade do adolescente de formar conceitos e sua capacidade em defini-los, emprega-os, usa-os em uma situação concreta, mas tem dificuldade em expressá-los verbalmente. A atividade dominante do adolescente está associada a uma inclusão nas formas de vida social e pelos interesses teóricos.

Segundo Vygotsky (1991) numa atividade coletiva ou sob a orientação de adultos, usando a imitação, as crianças são capazes de fazer muito mais coisas, pois o que a criança hoje é capaz de fazer em cooperação será capaz de fazer sozinha amanhã.

Na psicologia, uma das preocupações é detectar o nível de desenvolvimento real do indivíduo, ou seja, aquele que revela a possibilidade de uma atuação independente do sujeito. A escola também valoriza, ainda hoje,



apenas o nível de desenvolvimento real dos alunos, seja durante as aulas, seja nos momentos de avaliação, pois medem o desempenho observado ao final do processo, procurando compatibilizar erros e acertos, mas não consideram o processo vivenciado pelo indivíduo na resolução de problemas.

Muitos professores exigem que seus alunos realizem avaliações ou trabalhos ou leitura sozinhos, sem discutirem questões com eles ou com seus colegas. Isto leva em conta apenas o produto, ou seja, o que os alunos conseguem responder e não como conseguiriam chegar às respostas, daí perde-se a oportunidade de observar que muitas questões não respondidas, ou que apresentam respostas "erradas", se realizadas com a mediação do professor, ou a de colegas mais experientes, teriam tido respostas positivas.

Isto porque Vygotsky aponta a existência de um outro nível de desenvolvimento - o proximal ou potencial, que tanto quanto o nível real deve ser considerado na prática pedagógica.

Portanto, o nível de desenvolvimento mental de um aluno, não pode ser determinado apenas pelo que consegue produzir independentemente; é necessário conhecer o que consegue realizar, muito embora ainda necessite do auxílio de outras pessoas para fazê-lo. Daí a importância do conhecimento do processo mental realizado pela criança.

A aprendizagem interativa permite que o desenvolvimento avance. Vygotsky mostra através do conceito de zona de desenvolvimento



proximal, quanto a aprendizagem influencia no desenvolvimento, onde o educador tem o papel de mediador.

Para Vygotsky o desenvolvimento humano e a educação são fenômenos inseparáveis, pois o que faz o homem ser humano é a incorporação dos componentes da cultura em que está inserido, onde não haverá desenvolvimento pleno sem o suporte de outros indivíduos.

A mecânica Quântica é o conhecimento novo a ser desenvolvido e o livro paradidático com suas analogia e metáforas

O ensino de Mecânica Quântica no ensino médio utilizando um livro paradidático e o uso de analogia e metáforas relaciona-se com a teoria de Vygotsky



CAPÍTULO VI

ABORDAGEM METODOLÓGICA

A pesquisa realizada para a coleta de dados teve um enfoque qualitativo e foi desenvolvida com seis alunos da 2ª série do Ensino Médio, em duas escolas diferentes. Dois alunos freqüentam uma escola particular e quatro, a Escola Técnica Estadual Elias Nechar, da cidade de Catanduva. A classe da escola pública era formada por 40 alunos, onde dez alunos se interessaram pelo assunto e quatro terminaram a leitura do livro. Na classe da escola particular apenas dois alunos se interessaram pelo assunto, pois eles lêem o material apostilado e resumo de obras indicadas para o vestibular.

Como os objetivos são conhecer o leitor e verificar a possibilidade da inserção de Mecânica Quântica no Ensino Médio, usou-se um livro paradidático, com suas analogias e metáforas.

Processaram-se as seguintes etapas: a princípio fez-se uma análise do livro para se verificar se o mesmo se inseria na proposta de trabalho, para posteriormente, indicar a leitura aos alunos.

Para verificar o tipo de leitor, fez-se uma entrevista, onde os dados mostram o perfil dos leitores. Após a leitura, foram feitas entrevistas gravadas com os alunos e, posteriormente, estas foram transcritas. Na última



etapa da coleta de dados propôs-se uma redação nos quais os alunos sugerem a leitura do livro para uma nova turma de alunos da classe.

A coleta de dados foi a longo prazo, como não tinha relação com avaliação, dois alunos demoraram a ler o livro, enquanto que os quatro o fizeram mais rapidamente, sendo estes da escola pública.

Os dados coletados foram analisados e verificou-se que o trabalho obteve bom resultado, pois estimulou os jovens a fazerem uma leitura diferente da que costumavam fazer. Questionaram, levantaram problemas e propuseram soluções.

1 METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO LIVRO

A análise do livro foi feita, a princípio, comparando-se os livros *Alice no País do Quantum*, de Robert Gilmore e *Alice no País das Maravilhas*, de Lewis Carroll. Posteriormente, fez-se a análise comparando o plano fabular e o científico.

A essência da análise centrou-se no fato de se trabalhar o livro paradidático, não como algo inflexível, imóvel, mas como realidade flexível no tempo e no espaço, como fator de interação entre o cotidiano, a sala de aula e os estudos paralelos, a leitura feita por prazer, independente de cobranças.

Para que houvesse dinâmica recuperou-se a dupla face da leitura, que é a de levar o leitor ao mundo mágico da imaginação, ao mesmo



tempo em que não se permite que ele se aliene da realidade concreta. Deve constituir pretexto para o questionamento de diferentes aspectos de mundo, pois, cabe à escola, aos professores, mostrarem que os fatos, as verdades, enfim a vida pode ser vista por diferentes prismas.

2 METODOLOGIA DAS ENTREVISTAS

Houve duas entrevistas uma para identificar o perfil do leitor onde analisou-se o hábito do jovem e a outra para analisar o processo ensino e aprendizagem em relação ao conteúdo do livro "*Alice no país do Quantum*"

As entrevistas segundo sua forma de operacionalização foram do tipo não estruturada e focalizada.

Elas foram realizadas em salas de aula após o período das aulas, com todos os leitores, sendo que quatro individualmente e dois juntos.

O tempo de cada entrevista variou entre trinta minutos e quarenta minutos. Elas foram gravadas e transcritas.

Procurou-se através das entrevistas conhecerem os leitores, conhecer a leitura que eles fazem das entrelinhas, de tudo o que não requer conhecimento prévio, mas requer raciocínio, habilidade de discussão e percepção de informações.



Nem todo texto pode fornecer todas as informações, é preciso que o aluno/leitor forneça algumas informações, baseado em seu conhecimento de outras leituras e do conhecimento de mundo que ele traz consigo.

3 PERFIL DOS LEITORES

Traçou-se o perfil dos leitores a partir das experiências que se tem em sala de aula e do convívio que se tem com os alunos fora da escola, nos bate-papos informais. Procurou se apreender o mundo que os cerca, os contatos que tem com a leitura e disponibilidade que tem para desenvolver as habilidades de raciocínio nos seguintes pontos: fornecimento de informações não dadas pelos textos, mas sim pelo raciocínio lógico; percepção de semelhança e diferença; percepção de causa e efeito; flexibilidade de arranjo mental e habilidade de distanciamento do texto.



- **YNAIARA**

16 anos, cursa a 2ª série do Ensino Médio.

Tem hábito de leitura, lê desde a infância, quando a mãe assinava gibis.

Lê livros e revistas.

Assina, atualmente, *Veja Capricho*, *Galileu*. Assim que as recebe, “devora-as”.

- **BRUNA CRISTINA**

15 anos, cursa a 2ª série do Ensino Médio.

Gosta de ler: revistas, gibis, jornais e livros.

Desde pequena, incentivada pelo pai, sempre teve gosto pela leitura.

- *Como?*

O pai lia histórias para ela.

Assina jornal.

Gosta de ler tudo o que “vê” à sua frente.

Tem preferência por romance romântico. Gosta de ação e de suspense.



Quando termina as tarefas domésticas, não tendo nada para afazer, lê por prazer.

Livros de que mais gostou: *Meu primeiro amor* e *Pássaro contra a vidraça*.

- **LAÍS EMANUELA**

16 anos, cursa a 2ª série do Ensino Médio.

Gosta de ler romance romântico e de romance de suspense.

Lê desde a 1ª série, quando ia à biblioteca ler os “livrinhos”.

O pai, a mãe e a irmã mais velha (professoras) lêem muito em casa.

Tem muitos livros e assina a revista do COREN.

Costuma ler os livros indicados em sala *de* aula.

- **GLACI MARIANA**

16 anos, cursa a 2ª série do Ensino Médio.

Gosta de ler jornais ou revistas. Não gosta muito de ler livros.

Quando pequena, lia gibi. Via o pai lendo e queria imitá-lo.

Costuma ler à tarde. Lê tudo no jornal, desde *economia* até *esporte*.

Lê revistas na casa da madrinha.

Assiste aos *Noticiários jornalísticos* na televisão.

Como lê, entende com facilidade as notícias.

- **PATRÍCIA**

Tem 17 anos.

Não tem hábito de leitura.

Lê apenas os resumos dos livros indicados em classe.

Embora não goste de ler os “clássicos”, costuma folhear as revistas que aparecem à sua frente.

É muito preocupada com os estudos a ponto de achar que ler não é uma forma de estudar.

- **WILLIAM**

Tem 18 anos.

Gosta de ler jornais e revistas.

Não se preocupa com a leitura obrigatória dos grandes vestibulares, mas lê aquilo que lhe interessa, deixando de lado a leitura que a escola lhe oferece.

Gosta muito de cálculos, de Matemática.

Pretende fazer o curso de Matemática

4 METODOLOGIA DAS REDAÇÕES

As redações foram escritas pelos alunos após a leitura do livro indicado e após as entrevistas, tendo como objetivo o ponto de vista de cada aluno sobre o livro *Alice no País do Quantum*, e a possibilidade do uso deste no Ensino Médio como pretexto para se estudar Física Quântica.

O tema foi dado a eles após alguns dias entregaram ao professor de Língua Portuguesa para correção de possíveis erros gramaticais e depois para análise.



CAPÍTULO VII

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados coletados foram analisados e verificou-se que o trabalho obteve bom êxito, pois estimulou os jovens a fazerem uma leitura crítica, diferente da que costumam fazer. Questionaram, levantaram problemas e propuseram soluções e procurou-se contextualizá-la num determinado momento histórico e sócio-cultural. A abordagem que se pretendeu dar à leitura foi intertextualidade, interdisciplinaridade e da leitura de um texto como pretexto para o estudo de Física Quântica.

1 ANÁLISE DO LIVRO PARADIDÁTICO

1.1 INTRODUÇÃO

Alice no País do Quantum, de Robert Gilmore, professor de Física da Universidade de Bristol- Grã Bretanha, é uma transcodificação do romance infanto-juvenil *Alice no País das Maravilhas*, de Lewis Carroll (1865), que é uma obra universal e facilmente adaptável a qualquer tempo, a qualquer espaço e a vários ângulos de percepção.



Gilmore fez um intertexto com o romance de Lewis Carroll com o objetivo de clarear os conceitos de Física Quântica através das aventuras da personagem Alice. Neste trabalho esta obra será qualificada como um romance de ficção pedagógica.

Alice no País do Quantum tem como ponto de partida o romance *Alice no país das Maravilhas*, desqualificando-o, inicialmente, na sua qualidade de algo já interpretado para em seguida requalificá-lo, tendo como consequência uma nova interpretação. *Alice no País do Quantum* se converte em outro discurso a ser interpretado, que é desqualificado como um romance que tem por objetivo o ensino de Ciências. Como toda aventura é um desafio à descoberta.

Iniciando-se a análise pelos nomes dos autores: Lewis Carroll, autor de *Alice no País das Maravilhas*, é o pseudônimo de Charles Lutwidge Dodgson, inglês, professor de Matemática que viveu no século XIX, enquanto que Robert Gilmore é professor de Física na Grã Bretanha, na atualidade.

Alice no País das Maravilhas apareceu, primeiramente, como um manuscrito com o título: *As aventuras de Alice embaixo da Terra*. Após sete anos Carroll escreve *Alice através do espelho*. Neste livro, Alice não entra pela toca do coelho, mas penetra no mundo da fantasia depois de atravessar o espelho de sua casa. Sem muita dificuldade, podem-se estabelecer pontos de contato entre o início da história de *Alice no País do Quantum* com *Alice através do Espelho* e não com o livro *Alice no País das Maravilhas*; assim como neste Alice atravessa o espelho, naquele ela atravessa o vidro da televisão.



Outro detalhe importante a se comentar é que no livro *Alice Através do Espelho* há o famoso poema *Jalberwocky*, que traz como traço marcante a utilização do *nonsense*, ou seja, aquilo que não faz sentido, que foge do racional. Da mesma maneira que Alice não consegue lê-lo, a *Alice do quantum* não consegue entender o que está a sua volta.

Não entendi nada do que vi até agora: Queria encontrar alguém que me desse uma boa explicação sobre o que esta acontecendo em volta de mim (GILMORE, 1998, p. 21).

Em escala microscópica, no entanto, as previsões da teoria quânticas são consistentemente confirmadas em experimentos. Até mesmo essas previsões, que parecem implicar em um retrato absurdo do mundo, estão sustentadas pela evidencia experimental.

Outra referência que pode ser citada, apenas como exemplo, é que Alice de Carroll serve apenas como um referente universal para Alice de Gilmore. Sem a pretensão de criar realmente uma obra de natureza poética, criou paráfrases para as Alices. Percebem-se as semelhanças quando aparece a figura do “Contador” de Incertezas. No capítulo dois Alice visita o “Banco Heisenberg” e em determinado momento chega a um escritório em que havia uma escrivania entulhada de livros onde os números ficavam mudando “... uma figura meio vitoriana na frente de Alice”, disse: “Quer saber sobre a Incerteza não é isso, mocinha?” (GILMORE, 1998, p. 33).



No capítulo seis – “Realidade Virtual” – Alice depara com outra Alice. Uma parecida com a outra, “como um negativo de suas fotografias”, sempre em nível invertido. Quando Carroll cria as duas Alices: *Alice 1 do país das Maravilhas* e *Alice 2 através do Espelho*, a Alice 2 continua as aventuras das Alices. É interessante observar que a Alice de Gilmore fica surpresa ao descobrir que a paisagem neste capítulo tenha mudado dramaticamente. “Tudo parecia estar invertido” (GILMORE, 1998, p. 97).

Este capítulo é o núcleo de *Alice no País do Quantum*, ele conota um movimento em espelho. Quando a *Alice através do espelho* encontra o poema *Jalberwocky* num livro e não consegue lê-lo, logo em seguida deduz que é preciso usar o espelho para poder decifrar as palavras porque no país do Espelho tudo acontece ao contrário. No País do Quantum o “Momentum”, significa Movimento. São as mudanças no *momentum* que desviam objetos de suas trajetórias e fazem as coisas mudarem. O espelho também é símbolo de movimento ao contrário.

A *Alice do quantum* coloca um capacete e num toque de mágica passa a entender tudo o que não entendia (Gilmore, 1998, p. 105), assim como a *Alice através do Espelho* percebe que para ler o poema era necessário colocá-lo à frente do espelho. À primeira vista o poema apresenta muitos signos verbais que aparentemente não existem na língua inglesa, são neologismos, por isso sua leitura é dificultada. No *País do Quantum*, a grande dificuldade é a interpretação dos signos científicos como elétron, fóton, spin, energia cinética, energia da massa de repouso, flutuações, nêutron, bósons, férmions, etc.



Outro exemplo de intertextualidade, entre os livros, que são apresentados neste mesmo capítulo, é a interpretação sobre as *partículas virtuais*.

O autor associa as Alices às seguintes imagens:

- a) "Os fótons virtuais produzem pares virtuais de elétrons e pósitrons, que se anulam um ao outro e voltam a ser um fóton";
- b) "O que aconteceu com você teria parecido para o resto do mundo como um fóton não usual de alta energia liberando sua energia para criar uma Alice e uma anti-Alice";
- c) "Afinal de contas, você está vivendo os acontecimentos na ordem inversa";
- d) "De qualquer forma, o processo de aniquilamento converteu você em anti-Alice e você viajou para o passado até ser criada, junto com a Alice".

Fica claro, portanto, que para Gilmore (1998) criar a sua Alice ele o fez imitando o movimento das partículas. O processo de aniquilamento das Alices de Carroll foi criando uma anti-Alice que se transformou em uma nova Alice:..."Ele (o fóton) deixou de existir no instante em que você inverteu sua travessia no tempo" (p. 109). Apesar, das observações mostrarem que por algum tempo houve três de você: duas Alices e uma anti-Alice, na realidade todas elas eram você" (p. 110). Aqui são apresentadas todas as Alices que decodificam o processo científico - as duas Alices (a do País das Maravilhas e a do através do Espelho) e a anti-Alice do Quantum.

Assim, *Alice no País do Quantum*, quando em uma primeira leitura assumir conotação de ficção científica (de literatura do absurdo, surreal), logo se percebe intertextualidade com o poema e as Alices de Carroll.



O discurso científico compõe-se de mensagens-objeto e nele se emprega a linguagem para falar de algo que não é a própria linguagem, como num livro de receitas culinárias (Lopes, 1986), não é ininteligível como parece, pois apesar dos signos científicos, não há realmente uma ruptura com as regras pré-estabelecidas da sintaxe. Obviamente os vocábulos científicos subvertem o texto, contudo esse desvio não foi suficiente para impedir a decodificação do livro.

Pergunta-se, então, qual seria a função deste livro? Apenas uma brincadeira de Robert Gilmore?

Uma das interpretações seria a de que a Mecânica Quântica personifica algo difícil demais para ser entendida. No momento em que ela saiu de seu esconderijo e foi divulgada, tornou-se uma ameaça ao mundo inteligível e racional e só poderia ser vista através do mundo da fantasia.

Uma interpretação desta natureza terá certo fundamento levando-se em consideração o fato de que por trás do mundo de aparências que se pode chamar de País das Maravilhas, País do Espelho ou País da Ciência, existe um mundo sombrio e cruel, sem as maravilhosas cores do mundo encantado. Este "outro" mundo que precisa ser explicado, um mundo chamado realidade, onde só em nível metafórico da linguagem podemos alcançá-lo.

1.2 OS NÍVEIS DA HISTÓRIA: O FABULAR E O CIENTÍFICO

Alice estava entediada. Olhava para a tela da televisão e divagava "Queria ser como a outra Alice", que descobrira uma terra cheia de seres interessantes e acontecimentos estranhos. "Vê uma imagem da televisão se transformando numa névoa de pontinhos brilhantes que fluíam para dentro da televisão. Levantou-se; tropeçou no livro caído no chão; caiu de cabeça: "Não

consigo ver nada com esses pontos dando voltas ao meu redor"... é como estar perdida numa tempestade de neve... Não dá nem para saber onde estou". (GILMORE, 1998, p. 11).

Neste momento da narrativa a história começa a apresentar multi-focalização: a aventura de Alice que se vê envolvida por "pontinhos dançantes que fluíam para dentro da imagem" da televisão, que pode ser enquadrada no mundo da ficção, e a situação do espaço que pode ser explicada através do ponto de vista científico.

Pelo caráter científico da história, a figura de Alice se dilui e a narrativa se prende ao elemento "espaço", um espaço virtual teórico tópico (conhecido) sobreposto por um espaço atópico, (estranho) ficcional. Embora um espaço de ficção constitua o cenário da narrativa, a espacialidade é dimensionalmente mensurável (que pode ser determinada, verificada) horizontalmente e é própria do espaço humano ou natural. O espaço adquiriu assim uma importância particular, pois objetos e situações são descritos em si, independente da referência a uma ação ou a uma atitude da personagem Alice.

A metaforização do espaço virtual tópico se dá pela necessidade de explicar um fato, de difícil constatação, por um outro facilmente verificável, realizando uma extensão ou generalização probabilística do conhecimento. Pela necessidade de competência na esfera analítica conceitual, o domínio do código verbal se assenta na capacidade de simbolização.



"Alice cai num labirinto. Alice se vê envolvida por uma névoa de pontinho. Sente os pés numa superfície plana e dura. Os pontinhos somem." (GILMORE, 1998, p. 11).

A História, a Literatura e a Mitologia construíram belíssimas imagens de labirintos, a idéia de um lugar onde, uma vez nele, não se tornará a sair. O labirinto seria o símbolo de onde o pensamento se instaura pelas suas sinuosidades e armadilhas. É Alice quem vai entrar no labirinto do mundo quântico, tentando desvendá-lo através da linguagem, *linguagem metafórica*, a dos paradoxos do pensamento. Terríveis são os labirintos espaciais onde estações, plataformas, ruas, passagens, portas, terrenos vazios surgiram na imaginação. No entanto, mais terrível ainda é o labirinto do tempo.

A relação entre tempo e energia é a mesma para todos, então?" Aqui não somos nós que nos perdemos, mas sim, o nosso pensamento". É ele que é posto à prova nas bifurcações da lógica dos sentidos, é ele que deve se perder nas curvas da linguagem. É assim que Alice deve conhecer o mundo do quantum, penetrando no coração onde habita o *nonsense*.

Alice está agora, instalada no labirinto do quantum. Formas indefinidas cercam-na. Observa uma pequena figura, difícil de ser definida, pulando de um lado para o outro muito rapidamente. A figura parecia carregar uma bengala ou guarda-chuva fechado apontado para cima. Alice se apresenta; a figura se apresenta como sendo um "elétron" spin-para-cima, como também seu

amigo “elétron” spin-para-baixo (do inglês, spin significa rotação, giro; to spin = girar, rodar)³.

Instala-se neste momento a intertextualidade do discurso poético/científico. Entenda-se por intertextualidade a relação do científico com o literário declarado pelo próprio autor: “Este livro é uma alegoria da Física Quântica... Grande parte da história é pura ficção e os personagens são imaginários embora as notas que descrevem o mundo real sejam verdadeiras” (GILMORE, 1998, p. 7).

O autor tem por objeto da criação, explicar, através do literário, os conceitos científicos fazendo vasto uso da metalinguagem durante ou no final dos capítulos. Como diz Edward Lopes (1986), atribuir tal ou qual sentido a uma mensagem significa construir uma metalinguagem parafrásica; as parafrases podem ou não ser científicas. Científicas são modelos, construtos lingüísticos, tal como as fórmulas matemáticas ou químicas.

O elétron é antropomorfizado e o livro exige uma leitura múltipla. O elétron representa a voz do autor que engloba um saber científico estilizando a temática ficcional na mistura dos discursos:

- a pedido de Alice o elétron diminui a sua taxa de agitação, provocando sua expansão, tornando-se indefinido;

³ O termo é empregado na Mecânica Quântica como a característica quântica de uma partícula poder ser visualizada como tendo uma rotação intrínseca, apresentando um momento angular e magnético (McQuarrie, 1983).



- Alice se encontra numa estação ferroviária lotada por “figurinhas” que se espremiavam e se movimentavam rapidamente. Todas muitíssimas parecidas; - Todas as figurinhas tomariam o trem de ondas para uma “tela”;
- cada vagão do trem só levaria dois elétrons, que deveriam formar pares de spin-para-cima e de spin-para-baixo, para estarem de acordo com o princípio de exclusão de Pauli;
- por não ser um elétron, Alice poderá ocupar qualquer vagão;
- a viagem foi monótona;
- o fósforo da tela é excitado pelos elétrons provocando a emissão de fótons;
- todas as partículas se reuniam no mesmo vagão, para surpresa de Alice, foi uma viagem rápida, na velocidade da luz;
- chegam a uma outra plataforma e todos correm para longe dali;
- Alice se vê perdida no meio da multidão de elétrons, e sente perder o amigo;
- o amigo reaparece e explica a Alice que todos são o mesmo, são todos idênticos;
- todos os elétrons gritam “Eu sou o mesmo” e desaparecem;



- Alice sai da estação, vê - se numa rua e caminha pela calçada;
- encontra um coelho, preocupado, porque perdera a chave;
- o coelho diz: “Eu tenho que entrar diretamente”;
- o coelho corre rapidamente em direção a porta;
- a velocidade é tamanha que Alice só vê uma série de imagens sobrepostas do ponto de partida até a porta;
- a figura ricocheteia de volta na mesma velocidade;
- o coelho repete a ação várias vezes;
- o coelho explica que a probabilidade dele atravessar a porta era muito pequena, mas deveria tentar;
- Alice vai embora e, à distância, vê o coelho passando pela porta. Mais à frente Alice vê um grupo de operários descarregando tijolos de um carrinho. Os operários jogam uma planta no terreno e começam a jogar os tijolos aleatoriamente sobre ele. Alice se espanta. O mestre de obras explica que assim o fazem até estabelecer a distribuição de probabilidades para o resultado. Alice não fica convencida, mas percebe que, aos poucos, era possível distinguir paredes e cômodos que iam surgindo. O mestre de obras explica que com poucos tijolos não há nenhum tipo de padrão, mas com

um maior número a probabilidade de formação de um padrão é maior. Muito confusa Alice continua andando pela rua e vê um cartaz numa janela, não entende do que se trata e, desesperada, deseja encontrar alguém que lhe explique o que está acontecendo;

- alguém escuta sua fala e ela é aconselhada a procurar quem lhe explique a Mecânica Quântica e, por isso, deveria ir ao Instituto de Mecânica;
- o informante de Alice diz a ela que para tirar as suas dúvidas sobre o cartaz que estava na janela e o significado de “eV” contido nele, ela deveria ir ao banco Heisenberg; - Alice vai ao banco.

No primeiro capítulo os elétrons saltitam, crescem, diminuem, brincam ocupando o espaço; apresentam o típico comportamento de uma criança. A infantilidade apresentada pelos elétrons é o que permite ao autor combinar as virtudes de ficcionista e cientista. As crianças sentem-se à vontade com objetos e animais concebidos como seres humanos. Assim, elétrons falantes constituem um mundo infantil.

Na literatura infantil, seres inanimados e animais, por exemplo, o coelho que Alice encontra na plataforma do trem, é usado para fins didáticos desde tempos remotos. O tom profissional em que os elétrons conversam com Alice, é em parte uma metáfora alegórica, elas são infantis, mas procuram não

parecê-lo. Por outro lado, o tom é a tal ponto reforçado pela forma como explicam a sua essência, pelos tópicos abstratos que abordam que são tomados por símbolos científicos e não literários.

Todo quadro é colocado para desmistificar o caráter referencial com que a ciência aparentemente se recobre, propondo respostas a um mundo concreto, mas com aparência abstrata por não ser palpável. Os conceitos científicos são decodificados para serem codificados num plano científico. O coelho é metaforizado na figura retórica da prosopopéia. É a imagem que tenta explicar à Alice o “comportamento de partículas em termos de distribuições de probabilidade”.

1.3 O PLANO CIENTÍFICO

Partículas virtuais e a relação de Heisenberg – a existência de uma partícula depende de que ela tenha uma energia mínima específica (energia da massa de repouso). O empréstimo de energia depende de uma constante: energia e tempo multiplicados. Quanto maior a massa de repouso, maior a energia e menor o tempo de sua duração. Unidade “eV”: A quantidade de energia de uma partícula é o que determina aquilo que ela é capaz de fazer. Algumas partículas têm suficiente energia própria. Fótons têm massa de repouso nula (não tem massa) e viajam a velocidade da luz. A luz é feita de quanta (partículas de luz) que são os fótons. Os “Quanta” são pequenos pacotes de energia. Tudo é feito de um quanta



de algum tamanho, daí a origem do nome da Física Quântica. Os fótons possuem diferentes quantidades de energia por isso são diferentes. Ondas de rádio são feitas de fótons – fótons de radiofrequência-: fótons com comprimento de onda bem grande, de baixa frequência e bem pouca energia. Os fótons da luz visível têm frequência maior e mais energia. Os que têm maior gasto de energia são as ondas de Raios-X e os fótons que compõe os raios gama.

Surge a questão: O que é energia? A energia possui várias formas; alguns exemplos são a Energia Cinética: qualquer objeto que estiver em movimento terá energia cinética (cinética significa movimento). Energia Potencial: Energia elétrica ou Química: energia potencial dos elétrons que compõem os átomos. Uma forma de energia pode ser convertida em outra. A energia cinética de uma partícula é nula quando esta não está em movimento embora sua posição lhe confira energia potencial. A energia potencial, convertendo-se em energia cinética provoca um aumento na velocidade da partícula. Não há nenhuma restrição óbvia sobre a quantidade de energia que qualquer objeto pode ter.

1.4 PLANO FABULAR -METAFÓRICO

Um Banco (financeiro) com características tradicionais: amplo salão dividido em barreiras de filas e caixas onde partículas virtuais esperam por



um empréstimo de energia. Estas partículas são visíveis na fila do caixa e vão, com o tempo, transformando-se em figuras brilhantes.

Um par de figuras materializa-se (elétron e pósitron); são como negativo de uma fotografia. Uma gerente distribui empréstimos de energia para as partículas. O empréstimo de energia é comparado à taxa de câmbio: empréstimo muito alto, prazo curto de pagamento. A energia funciona como dinheiro-dólares, reais, notas, moedas, caderneta de poupança ou investimentos. Uma forma de energia pode ser convertida com o depósito de papel moeda em caderneta de poupança.

1.5 O INSTITUTO DE MECÂNICA

Alice no Instituto de Mecânica - uma estrutura de tijolos envelhecida - “castigada pelo tempo” - provavelmente esta figura está relacionada ao tempo real de existência da mecânica, assim como é altamente significativa a existência de uma sala “ampla e escura”, que pelo tempo de sua existência acumulou vários conceitos, mas não consegue explicar-se com clareza.

Também significativa é a presença de dois personagens presentes numa mancha de luz. A luz no caso significa novos conceitos que começam a aparecer no estudo de Física. A imagem de oposição entre velhos e novos conceitos também pode ser decodificada entre o “computador” e a “máquina a vapor”.



Os dois personagens: conceitos que se confrontam – o “velho” (clássico) e o “novo” (quântico).

Um deles é alto e angular, usa camisa branca engomada com colarinho duro e alto, gravata estreita, usando macacão: representa a Mecânica Clássica, desenvolvida apenas nos laboratórios, ou seja, a partir dos conhecimentos empíricos. O outro é menor e mais jovem, rosto redondo, óculos grandes de metal, veste avental branco de laboratório, camiseta com desenho atômico, não muito nítido devido às cores desbotadas (representa a Mecânica Quântica). Os dois jogam bilhar.

Alice é levada para uma sala *gondanken* (sala de pensar). O chão da sala era aberto atravessado por fachos de luz, figurativização própria da ficção científica, e que olhando fixamente transformava pensamento em imagens reais.

O pensamento de Alice se transformava em coelhos. Os do mecânico, primeiro em ondas pesadas, depois em ondas circulares partindo do centro da água e em seguida em longos sulcos paralelos que se movimentavam de um lado para o outro.

Continuando o exercício de pensar, uma barreira foi colocada dividindo o chão em dois. As ondas paravam na barreira e tudo ficou calmo e parado, mas uma fenda foi feita na barreira, as ondas passavam pela brecha e se espalhavam circularmente. Em seguida duas fendas foram feitas, uma à esquerda e outra à direita do ponto central. Um outro tipo de movimento apareceu, o movimento da água foi congelado no lugar em que estava. Duas setas



fluorescentes aparecem para marcar as regiões de amplitude máxima e mínima. Movimentando a fenda de um lado para o outro, o padrão de ondulações avançava e retrocedia. Estas imagens explicam o fenômeno de interferência construtiva e de interferência destrutiva, isto é, quando as duas ondas se encontram estas podem se cancelar ou somar-se mutuamente. Temos aqui apresentado a metáfora sobre interferência de ondas.

Outro exemplo de figura (imagem) metafórica de interferência e probabilidade: é quando a sala de *gondanken* transforma-se em área blindada com barreiras reforçadas e altas ao longo do perímetro. De um lado a outro, no meio do chão, erguia-se uma parede blindada com uma estreita abertura um pouco à esquerda do centro.

O mecânico usa uma metralhadora e começa a disparar, algumas balas acertavam a parede e zumbiam para todas as direções, algumas passavam pelas aberturas na barreira e chegavam à parede do outro lado, parava imediatamente e se elevava devagar para ficar flutuando no ar bem acima do ponto onde atingira a parede. Neste experimento há maior probabilidade da bala passar direto pela fenda do que resvalar na borda da abertura e se deslocar muito para o lado.

Num segundo momento a fenda é desdobrada um pouco para a direita, a metralhadora recomeça a disparar e o resultado parece ser igual ao anterior. Em seguida duas fendas estão presentes.



Num terceiro momento o experimento é feito com um “canhão de elétrons”. Os elétrons subiam degraus e entravam no canhão sendo disparados num fluxo regular. Via-se um clarão de luz no lugar onde cada um deles atingia a tela. Os clarões, ao apagarem, deixavam uma estrelinha brilhante que ficavam marcando o lugar onde os elétrons tinham aterrissado. Alice observa que sua distribuição era bem diferente daquela obtida com as pilhas de balas.

Se que nos capítulos um, dois e três encontramos Alice num espaço restrito, no capítulo 4 ela se vê num espaço amplo, mítico: o bosque , embora ainda caracterizado como labirinto. O capítulo inicia-se com uma metáfora: “Alice adentrou o bosque e foi seguindo por um caminho que serpenteava por entre as árvores...”. Três símbolos aparecem simultaneamente: bosque, serpente e gato. O bosque estaria no nível de inconsciência de Alice, aquilo que gera apreensão. A serpente também está associada às profundas camadas da consciência; é como se Alice estivesse saindo do estado de inconsciência para um mundo de consciência aparentemente estranho a ela. A menina tem de tomar uma decisão, escolher um caminho: “De qualquer forma, consegue ir a várias direções ao mesmo tempo, então acho que deveria tentar a mesma coisa de novo”. Alice é uma criança e como tal é emocionalmente egocêntrica pela inteligência distanciada da emoção que lhe é necessária, portanto parece perdida por não conseguir um raciocínio pontual para resolver o problema e qual atitude tomar. O espaço que a envolve não lhe diz nada, não aguça sua imaginação.

No capítulo quatro a menina é espreitada por um gato que pouca ajuda lhe dá ao ser interrogado. O gato é um símbolo do distanciamento intelectual; todos os gatos são distanciados, e desde que este sorri, é um observador divertido. Pode desaparecer, porque pode alhear-se do seu meio. E Alice continua a procurar uma saída no labirinto em que se encontra até deparar com um campo dividido, “Como se fosse um tabuleiro de xadrez, isto faz com que percebamos que Alice, aparentemente perdida, toma o controle da situação, já que o tabuleiro de xadrez pode simbolizar o controle de si mesma”.

Além do gato, pelo que demonstra o texto, a presença do “Patinho Feio” que vira cisne, da “Pequena Sereia” e do “Imperador” temos apenas o recurso paródico, ilustrativo que aproxima o mundo da fantasia do jovem, herdado da infância, ao mundo da Física, ou mais precisamente, são recursos utilizados para explicar o “problema da medida” em Mecânica Quântica.

Nos capítulos finais (cinco, seis, sete, oito e nove), há poucas variantes do que já foi dito embora sejam entremeados por uma carga maior de informações científicas.

Tudo indica que para Gilmore quanto mais absurdos os postulados da reflexão, os do materialismo científico, mais vigoroso se torna o pensamento. O mundo físico é tão estranho que se colocado simplesmente numa linguagem referencial, seus cânones parecem absurdos. Assim, os átomos falantes constituem aqui um mundo infantil.



Os semas humanos com os quais os átomos se apresentam é que determinam o nível metafórico, ou melhor, o recurso retórico da prosopopéia. Assim, o sema átomo é formado pela combinatória dos semas: falam de si mesmo, entram e saem dos arbustos, põe a cabeça acima de um arbusto, se escondem atrás dos corrimões, não são tão maus, Férmions são individualistas. Bósons são sociáveis, andam em gangues, marcham bem juntos, têm liderança, trabalham, são alunos, constroem condições de contorno, formam uma densa multidão. Fótons são animadores e agitadores, nadam no vácuo, aportam, ficam ancorados, são aristocratas, se recusam a participar de qualquer tipo de comércio, são reservados, satisfeitos, com a maneira que levam suas vidas, sentam-se, moram, têm sócios, gritam, usam óculos escuros, são cidadãos, são família, clãs.

A pequena Alice apenas observa e questiona o mundo que se abre a sua frente e por não alterá-lo é a quem o vê mais próximo da "verdade". Objetar a realidade das "partículas" ou acreditar nelas, não ocorre prontamente a um pequeno estudioso do "espaço físico". Mesclar esse estudo, com uma curiosidade ou admiração infantil, no caso a de Alice, faz a Ciência parecer menos irreal e dá a qualquer um a impressão de ser tudo muito bom porque educa e instrui uma criança.

As mudanças de tamanho das partículas, análogas às mudanças de tamanho da Alice de Carroll, dá ares de impessoalidade e desenvolve o conceito de ver as coisas como elas são. Provoca admiração de índole científica.



Os conceitos "físicos" vistos somente através da linguagem, afiados por ela, parecem veicular seu próprio sentido, desvendando tudo aquilo que aos olhos das crianças se mostram escondidos pelos adultos.

É importante que Gilmore apresente uma Alice inocente e aparentemente ingênua de todo conhecimento científico, assim tudo pode ser mais bem esclarecido.

Na queda de Alice no capítulo sete num poço fundo até atingir "O nível mais baixo de um átomo de cloro", o cientista desvenda mais um dos segredos dos átomos que reproduzem as mesmas palavras da Alice de Carroll: "não há mais nenhum espaço... para que eu ainda possa crescer mais aqui". Uma queda num buraco fundo produz um mergulho no raciocínio que gera novos conflitos com o saber e uma questão se impõe é o de como encontrar uma saída. Se numa interpretação freudiana, o buraco pode significar o útero, Gilmore também coloca no poço o princípio do nascimento dos átomos.

O que é o núcleo? Pergunta Alice. O núcleo é o mestre oculto do átomo: nós, elétrons conduzimos o negócio de formar compostos químicos, de emitir luz de um átomo etc..., mas é o núcleo que realmente controla o tipo de átomo em que estamos. É ele quem toma as decisões finais e estabelece o número de elétrons que podemos ter e os níveis de energia disponíveis em que podemos colocá-los. O núcleo aluga a família nuclear, o submundo secreto da Carga Organizada (GILMORE, 1998, p. 129).

Assim como em *As viagens de Gulliver* de Jonathan Swift, a combinação de animais falantes e as mudanças de tamanho exercem alguma atração direta sobre as crianças. As crianças sentem-se à vontade com animais



concebidos como seres humanos, isto toca a fantasia da criança. No capítulo Átomos e Vácuo, os oitos elétrons demonstram ares de convenção, a situação é similar a dos animais. Os átomos comportam-se como amigos, não fazem segredos dos processos da natureza; são amistosos, porém francos. A aparência infantil dos átomos é que permite combinar o literário com o científico e o que inicialmente parece absurdo torna-se natural no mundo da fantasia.

Para entrar no "Baile de Massacarados" Alice se define como partícula.

Através da criação do neologismo do Baile dos Massacarados, que na verdade é "máscara", o autor faz uso deste símbolo para desvendar totalmente todas as particularidades dos átomos. É um símbolo de identificação, ou como no conceito da psicanálise, tem como objetivo ao arrancar a máscara colocar a "pessoa" na presença de sua realidade profunda. Tudo indica que, aqui, ao tirar a máscara os átomos revelam-se na sua essência.

Duas outras colocações devem ser evidenciadas no capítulo "O Baile de Massacarados das Partículas". A primeira é a única interferência direta que o narrador-autor faz na "história" toda, fazendo uso dos parênteses ele diz **"É uma pena que este livro não tenha ilustrações coloridas, senão você poderia ver como essas cores são"** (p. 153). A segunda é a referência do caráter polissignificativo da linguagem: **"Quando eu uso uma palavra, ela significa aquilo que eu quiser, nem mais, nem menos"** (GILMORE, 1998, p. 161).



Finalmente chegamos ao epílogo da narrativa. No capítulo dez "A Pheira Phantástica da Física Experimental", é a própria ortografia da palavra, onde o fonema [f] é ortografado com [ph], que dá uma idéia de como são realizados os experimentos da Física.

Na "pheira" todos os tempos se encontram, aliás, é somente neste capítulo que o tempo aparece como traço característico da obra. O Mecânico Quântico diz: "Todos são cientistas aqui. Este é o grande parque da observação experimental". Experiências que caminham desde o homem das cavernas; "Um dos presentes era particularmente cabeludo e passava entre os outros, metido em peles de animais... Ele havia abandonado sua roda e realizava um complicado procedimento com pequenas pilhas de ossos"; passamos pelos filósofos gregos, pelo século XVII, pelo "paradoxus" Einstein - Podolsky - Rose, até chegarmos aos nossos dias.

Como observações finais podem inferir sobre alguns aspectos da história que se tornam relevantes, como é o caso do "espaço".

A marca dominante da linguagem metafórica usada pelo autor é sem dúvida o espaço. O livro oscila entre o exuberante mundo absurdo da fantasia e o mundo absurdo da realidade acolhendo ciência e tendência romanesca. Se em determinados momentos o romance está sujeito ao rigor da observação exata, em outros demonstra o lúdico fantasioso da criança. Todo "espaço" se insere através das histórias infantis.



O percurso figurativo espacial como "vagão de trem", "sala com colunas altas e paredes de mármore", "salão", "escritório grande e moderno", "escritório com escrivaninha alta e antiga", "passagem escura", "túnel subterrâneo", "salão bem grande com janelas altas por todos os lados", "alta parede de pedra", "largo portão", "velha e digna casa que parecia uma mansão", "teto em arco", "escada larga", "amplo salão", "alojamento", "longos corredores", "portões de ferro", "ampla planície", "grande construção comercial", "mansões", "poço", "castelo", "muralha", "salão que se estreita e estica", "degraus de pedras". Tudo é grande sob a ótica da criança, e o espaço físico em que se desenvolve a ação se apresenta na forma de uma unidade artificial construída, onde as "partículas" assumem o *status* de personagem, antropomorfizadas, e são criadas pelo próprio movimento que lhes é próprio, independentemente da ligação com os movimentos de Alice ou a qualquer outro acontecimento.

Em contraposição a este espaço há aqueles que dão à narrativa um caráter lírico e bucólico que vem harmonizar o ambiente estressante onde os "átomos" circulam: "bosque com caminho que serpenteava por entre as árvores", "trilha na floresta", "riachos cruzando a região de um lado a outro", "caminho que se transforma numa estrada plana", "parque muito bonito", "lindos canteiros com flores", "ao longo do caminho, borboletas coloridas", "pequeno regato borbulhava", "curso d'água se derramava numa cachoeira miniatura", "praia".

Nestes deslocamentos espaciais, determinados pelas constantes partidas de Alice está instaurada sua neutralidade devido ao fato de que ela não



estabelece ligações com os átomos, o que ocasiona a supervalorização do espaço.

A categoria sêmica da espacialidade é que determina o eixo semântico do livro.

Como já foi dito, as seqüências organizadas e explicadas anteriormente, e a presença constante da categoria sêmica da espacialidade, permitem a afirmação de que a “história se torna circular: a partida de Alice, que indica o arcabouço formal da história e sua chegada no mesmo ponto de partida. Ela parte através do sonho e chega através do sonho e o percurso figurativo está instaurado nos conceitos científicos”.

2 ENTREVISTAS

Os alunos receberam os livros e alguns rapidamente comunicaram que já tinham lido o primeiro capítulo e que tinham dúvidas. Baseando-se, nesta expectativa dos alunos projetou-se o trabalho da seguinte forma: para cada capítulo lido haveria uma discussão e uma entrevista.

A entrevista foi estruturada para que houvesse liberdade de expressão dos alunos, que exprimissem suas idéias e colocassem suas dúvidas e que fossem esclarecidas pela professora.

A dificuldade maior foi juntar os alunos para que fosse aplicada a entrevista. A primeira entrevista foi com dois alunos, Patrícia e William, os outros estavam em semana de provas.



2.1 ENTREVISTA - PATRÍCIA e WILLIAM

Laura: Vamos começar a discussão sobre *Alice no País do Quantum*. Temos hoje o William e a Patrícia, que se prontificaram a ler o livro, nada lhes foi imposto, eles tiveram vontade de ler.

Laura: Gostaria de perguntar para o William, primeiramente:

Laura: Qual foi a primeira impressão que teve do livro, se entendeu, se sentiu dificuldades? O que você percebeu quando leu o livro? Quais as dificuldades que encontrou? Já ouviu falar desse assunto.

William: Olha, eu não tinha nenhum conhecimento nesta área, não conhecia o livro, muito menos o assunto... e a primeira vista pareceu um assunto bastante complexo e de difícil aprendizagem, mas a didática do livro parece ser boa, uma linguagem simples.

Laura: E você Patrícia?

Patrícia: Eu achei o livro meio difícil, não entendi quase nada e nunca tinha ouvido falar sobre o assunto.

Laura: Vocês nunca tinham ouvido falar em Mecânica Quântica, tem alguma idéia sobre o assunto.



W: Eu tinha ouvido falar de mecânica no ensino médio, mas não tinha nenhum conhecimento do assunto.

L: E você Patrícia.

P: Eu nunca ouvi falar e não sei nada.

L: Você não sabia nada sobre o assunto?

P: Não, nunca me preocupei em pesquisar matérias que não foram dadas em classe.

L: Com este livro você acha que foi uma maneira de aprender o assunto. Você achou interessante.

P: Logicamente, achei interessante e deu para aprender bastante coisa.

L: E você William, o que achou? Acha que deu para aprender alguma coisa, tem alguns conceitos que achou mais interessante?

W: O assunto é bastante interessante, embora seja difícil, acho que foge um pouquinho do padrão do que a gente aprende no ensino médio, é uma outra visão de conceitos.



L: Agora vamos analisar 1º capítulo, *No Pais do Quantum*.

Algumas coisas que foram destacadas e que vocês acharam interessantes. Por exemplo, vamos analisar a fala do elétron.

“Sou elétron, disse a forma, sou um elétron de spin para cima e existem elétrons de spin para baixo”.

Você tem alguma idéia sobre o que significa isso, o livro foi claro? O que vocês entenderam sobre o assunto?

W: Eu entendi que o spin é o processo de rotação. Pelo livro deu para entender que os elétrons são iguais e só diferem pela rotação, pelo sentido de rotação.

L: Você tinha idéia de que os elétrons eram iguais?

W: Não, eu desconhecia este assunto, foi bom eu ter participado deste trabalho, pois percebi que devo ler os livros recomendados pelos professores.

L: E esse conceito ficou claro no livro?

W: Com certeza, isso deu para frisar bem.

L: No livro tem mais algum item que você gostaria de destacar? Que conceitos que não conhecia e que no livro foram modificados a partir do momento que você o leu?



W: A agitação dos elétrons. Os elétrons ficam agitando para não ocupar muito espaço, eles se agitavam para ocupar menos espaço possível. Outra coisa que ele frisou bem foi que um elétron de spin para cima só podia ficar no mesmo padrão que um elétron de spin para baixo.

L: A analogia do vagão foi valida para o entendimento do assunto?

W: Sim, por causa da distribuição, esta analogia fez-me entender estes conceitos.

L: Quanto à analogia do guarda chuva, foi claro, foi um recurso que ele utilizou e que valeu?

W: Sim, porque foi uma linguagem muito simples, para quem não tem noção do assunto, ele usou um objeto que qualquer pessoa conhece.

L: Patrícia, agora quero falar com você.

O que você entendeu em relação ao elétron spin para cima, spin para baixo.? Você entendeu pelo livro ou você já sabia este conceito?

P: Eu já sabia, já tinha algum conhecimento sobre o assunto.

L: Em termos de igualdade dos elétrons? Você já sabia que os elétrons eram iguais, como o William colocou, ou pelo livro?



P: Pelo livro, eu não sabia, o livro explicou bem, deu para entender.

L: E a analogia do vagão do trem?

P: Eu não sabia, achei interessante, isso de cada tem que ser espécies diferentes os elétrons.

L: A disposição dos assuntos no livro é um bom recurso para a aprendizagem?

P: É bom, mas para os alunos do ensino médio que é muito, difícil e cansativo. Se tivesse ilustrações coloridas seria mais atrativo.

L: Você já leu o livro *Alice no país das Maravilhas*?

P: Já li o livro quando estava na quarta série. Assisti ao filme também, por isso que acho que as imagens coloridas atraem mais.

L: Você acha que essas analogias que ele usou para ensinar Mecânica Quântica são válidas?

É importante o uso deste recurso?

P: Acho que esse tipo de linguagem torna o livro mais interessante, embora o conteúdo seja difícil.



L: O que você acha que seria um recurso para melhor aprender Mecânica Quântica?

P: Que fosse vídeo, gosto muito de filmes.

L: Então, o filme seria um outro recurso que poderia ser utilizado para ensinar Física Quântica?

P: Creio que através das imagens de um filme baseado no livro seria mais fácil e mais rápido para o aluno aprender, pois as imagens em movimento chamam muito a atenção.

L: Certo.

L: William, você teria mais algum comentário para fazer? Você tem alguma dúvida sobre algum assunto? O que precisaria ser discutido para melhorar a aprendizagem?

W: Olha, no final o assunto ficou bastante complexo. O capítulo que se refere a probabilidade, não ficou bem claro, como foi construída a casa em cima da planta, eles trabalharam em cima de uma probabilidade que realmente, através do livro, não deu para entender.



L: Você precisaria ter aprendido o conceito de probabilidade. Você não o conhece, ou você não entendeu a colocação do autor?

W: Eu não tenho o conceito matemático do que é probabilidade, entendo até bem o que é probabilidade, mas eu não entendi o que foi feito antes, como eles chegaram a este método de construção de casa, realmente não ficou claro. E o cartaz que está na última página do primeiro capítulo, também é bastante complicado, mas nos últimos parágrafos o autor disse que esse cartaz será explicado nos próximos capítulos, mas é bastante complexo.

L: Sobre o que fala o cartaz?

W: Ah. Ele usa unidades aqui de energia... O que o autor mais usa é o Princípio de Exclusão de Pauli, que também não ficou bem explicado,. O que é, como é feito, para que serve?

L: Você conhece o Princípio de Exclusão de Pauli?

P: Eu não tenho muito conhecimento, mas já ouvi falar dele na escola.

W: Também já ouvi falar, acho que já estudei, mas não me lembro.

L: Quando vocês leram no livro, vocês se lembram de alguma coisa?



P: Não, porque muitas vezes eu estudo para as provas. Quando passam as provas as matérias voam...

W: Conheci o assunto através do livro, o autor diz que tem a ver com o spin para cima, spin para baixo, mas não explicou bem do que se trata.

L: Por que Alice cabia dentro do vagão com os elétrons? Outro elétron não caberia?

P: Pelo que entendi a Alice cabia no vagão porque ela não era elétron. Se ela fosse elétron não caberia

L: O que você acha William?

W: Acho que dois corpos não ocupam o mesmo lugar ao mesmo tempo.

L: Dois elétrons podem ficar no mesmo vagão, o terceiro não pode ficar. Por que Alice entrou no vagão?

W: Como uma observadora, então?

L: Como uma observadora.

2.1.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ENTREVISTA

Nesta entrevista observa-se que à primeira impressão, tanto para Patrícia quanto Willian, foi que o assunto é complexo e de difícil entendimento. O jovem acha a linguagem fácil, enquanto a jovem tem dificuldade, isto se justifica analisando o perfil dos leitores, pois ela não tem hábito de leitura.

Tanto um quanto o outro não tinha conhecimento de Mecânica Quântica. O uso do recurso analógico utilizado por Gilmore propiciou o entendimento de conceitos relativos ao elétron como rotação, igualdade.

Analisando o papel do livro como recurso didático, Patrícia critica o livro, pois para ela, é muito técnico e não estimula a aprendizagem. Sugere que se use outra estratégia, o filme. Ela acha que, através de imagens em movimento, será mais fácil entender Física Quântica.

Para Willian, alguns conceitos não foram bem apreendidos só com o uso do livro, pois embora o livro seja uma ferramenta para auxiliar o entendimento dos conceitos de Física Quântica ele necessitou de explicações à parte para que pudesse entender melhor.

Percebe-se que, muitas vezes, os alunos/leitores não entendem o duplo sentido da linguagem, lêem superficialmente sem se preocupar em reler ou compreender o que está escrito, mas está implícito e podemos observar que para a internalização dos conceitos científicos também é importante além da sua

aplicação, operações mentais de abstração e generalização, como proposto por Vygotsky

2.2 ENTREVISTA YNAIARA

Laura: Qual foi a primeira impressão que você teve do livro?

Ynaiara: Eu achei que não era muito legal, mas depois que fui lendo, aí eu comecei a achar mais legal. É um livro que explica bem Física Quântica e ajuda a gente a aprender. Tudo vai ficar mais fácil quando tiver o conteúdo na sala de aula.

L. Você entendeu o que leu ou você teve algumas dificuldades na hora da leitura?

Y. Algumas partes que eu não entendi bem, ficou meio vago.

L. Que tipo de assunto você achou que ficou mais vago?

Y. Quando fala dos elétrons, quando ficam mais que dois elétrons iguais juntos.

L. Você tinha ouvido falar de Mecânica Quântica?

Y. Já, uma vez fiz um trabalho, e durante a pesquisa vi algo relacionado a este assunto.



L. Que tipo de trabalho?

Y. Foi um trabalho, que o professor pediu, sobre Mecânica Quântica, eu estava em outra escola.

L. Onde você pesquisou?

Y. Pesquisei em alguns livros da biblioteca da escola, mas só encontrei o assunto de maneira mais clara na Internet.

L. Qual parte do livro você achou mais difícil?

Y. O empréstimo de energia, acho que professor explicando fica mais fácil entender.

L. O que você achou da linguagem do livro. Você acha que esse livro é de fácil ou de difícil entendimento?

Y. Achei fácil a linguagem do livro. Como não estudei Mecânica Quântica, detalhadamente, ficaram algumas dúvidas.

L. Através da leitura você teve dificuldade para entender, também?

Y. Não, muita coisa ficou meio vaga.



L. Este tipo de colocação, o arranjo do livro, as notas explicativas, você acha que dificultou ou facilitou?

Y. Facilitou bastante, caso contrário eu teria de ler o livro com dicionário especializado no assunto.

L. Você recorreu à explicação sobre o assunto ou não?

Y. Muitas vezes. Sempre que havia notas explicativas eu as lia e procurava entender melhor o que já tinha lido.

L. Ynaiara, após a leitura, quais são os conceitos que você achou importantes neste livro?

Y. A parte que eu entendi bem, foi a dos elétrons. Eles não podem ficar mais de dois juntos. Aprendi que há um elétron de spin para cima e spin para baixo.

L. O que a ajudou a entender este conceito nesta leitura?

Y. Este conceito ficou mais claro quando eles entram no trem.

L. Você achou que essa analogia que o autor fez do trem ajudou-a a entender melhor esses conceitos?

Y. Sim, pois através desse recurso do trem dá para entender melhor a posição.



L. O que você achou das outras partes?

Y. A distribuição de energia e mais à frente a frequência das ondas, eu não entendi muito bem.

L. Mas você nunca tinha ouvido falar sobre esse assunto?

Y. Sobre frequência de ondas e distribuição de energia, não!

L. O que acha que faltou para você entender melhor?

Y. Ah, com certeza uma explicação é melhor.

L. Só através da leitura não dá para entender?

Y. Eu tive dificuldades, pois são termos específicos e muitas informações ao mesmo tempo.

2.2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ENTREVISTA

À primeira pergunta, Ynaiara respondeu-a mostrando receio inicial pelo texto científico e didático, mesmo que este “pré – conceito” vá se diluindo com a leitura do livro.

As notas explicativas oferecidas pelo físico/autor foram utilizadas pela aluna (Ynaiara). Elas auxiliam o leitor na interpretação do texto.



Os recursos analógicos e metafóricos usados pelo autor facilitaram, em parte, o entendimento do livro, embora alguns conceitos necessitassem de explicações à parte, que foram feitas pelo professor.

Em muitas questões a aluna ressalta a necessidade do mediador.

2.3 ENTREVISTA DE BRUNA CRISTINA

Laura: Qual foi a primeira impressão que você teve do livro?

Bruna: Achei a linguagem é bem descontraída, bem legal, assim o autor explica passo a passo as coisas, então dá para entender bastante, é só prestar bem atenção.

L. Você já tinha ouvido falar deste assunto?

B. Já tinha ouvido falar, por cima, mas não tão profundamente.

L. Aqui na escola você já tinha ouvido falar?

B: Não, embora freqüente a biblioteca com assiduidade, nunca tive contato com tais conceitos.

L. O que você acha, por exemplo, se o assunto, *Mecânica Quântica*, fosse inserido no conteúdo programático do Ensino Médio?

B. Ah, é da hora, é importante!



L. Você acha importante este assunto?

B. Sim, pois as atualidades são importantes. É bom que a gente acompanhe a evolução dos conceitos científicos e a aplicação dos mesmos no cotidiano.

L. Você acha, que este recurso, o livro paradidático ajuda ou não a ensinar Mecânica Quântica?

B. Ajuda, acho que é uma ferramenta importante para se entender um assunto novo.

L. Você tem mais alguma coisa para dizer sobre o livro?

B. Algumas partes ficaram meio vagas. Acho que deveria haver mais esclarecimentos, para deixar mais claros alguns conceitos.

L. Que partes ficaram sem significação, vagas?

B. Empréstimo de energia.

2.3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ENTREVISTA

Pela entrevista, percebe-se que Bruna não demonstrou o receio inicial causado por livros paradidáticos. Considerou este recurso como facilitador da aprendizagem. Quanto à importância da Mecânica Quântica respondeu: “Ah, é da hora, é importante”.



Nota-se que a aluna esta disposta e aberta à aprendizagem de conceitos da atualidade e cabe ao professor levar estes temas para serem discutidos em sala de aula.

A aluna ressalta a importância dos conceitos ligados à aplicação no cotidiano.

Quando o professor se posiciona como mediador do conhecimento, todos os assuntos tornam-se acessíveis aos alunos. É certo que a pessoa só aprende quando gosta, mas se for seduzida pelo assunto, facilmente ela passará a se interessar por ele.

Bruna é uma aluna tímida, fala pouco, mas interessou-se pelo assunto e comentou com os amigos a importância do livro paradidático, pois foi cativada para ler.

2.4 ENTREVISTA DE LAÍS EMANUELA

Laura: Qual foi a primeira impressão que você teve do livro?

Laís: Achei, inicialmente, que ia ser difícil entender o livro, mesmo tendo uma linguagem parecida com a usada em *Alice no País das Maravilhas*. Sendo um livro sobre Física Quântica, a gente fica meio assim, com medo, mas quando começa a ler, vê que é mais fácil e passa a entender melhor.



L. Você sentiu dificuldades para interpretar o livro?

Laís: Em certas partes tive dificuldades, então tive que ler mais de uma vez.

L. Depois que você leu mais de uma vez você conseguiu tirar suas dúvidas?

Laís: Houve alguns assuntos que sim, mas outros não ficaram muito claros, não!

L. Você lembra quais foram os assuntos que conseguiu entender?

Laís: A distribuição de energia. Um que não consegui entender foi o *momentum*.

L. Essa parte você não conseguiu entender?

Laís: Não, embora eu tenha lido mais de uma vez o mesmo assunto, precisei da explicação do professor para eliminar as dúvidas.

L. Você já tinha ouvido falar sobre o assunto?

Laís: Não, nunca tinha ouvido falar sobre Mecânica Quântica em detalhes, às vezes, a gente ouve o nome, mas não sabe o que significa.

L. Você acha que este assunto, *Mecânica Quântica*, deve ser ensinado no Ensino Médio?



Laís: Ah! Acho que seria bom, uma coisa a mais para a gente aprender, seria interessante.

L. O que você acha do uso do livro paradidático?

Laís: É legal, seria um recurso a mais para aprender, sem contar que lendo um livro deste dá impressão que a gente aprende sem estudar muito.

L. Além do livro seria necessário mais alguma explicação ou o livro é suficiente por si?

Laís: A explicação do professor é importante, porque traz mais aprofundamento, assim daria para aprender mesmo, seria legal ter sempre novidades para ler e depois a gente pode discutir com o grupo que leu.

L. Quanto à estrutura, como você vê a organização do livro?

Laís: O autor encaixou direito as partes para explicar, para a gente entender bem. Começou de uma maneira fácil, e foi aprofundando, lentamente, os conceitos teóricos.

L: Quanto às analogias e as metáforas usadas pelo autor, o que você achou?

Laís: Eu entendi bem, aquela do spin, do vagãozinho.



L. Em relação às partículas, o que você entendeu?

Laís: Eu entendi que os elétrons são iguais.

L. O que mais?

Laís: Que os elétrons têm spins diferentes, duas partículas iguais não podem ficar no mesmo vagão.

L. O que você entendeu sobre energia?

Laís: Havia um cartaz escrito "massa é energia e energia é massa". Quanto maior a quantidade de energia, mais massa é preciso e maior será a energia.

L. Estava bem explicado no livro?

Laís: Tive de ler umas duas vezes para entender.

L. O uso do livro como recurso para ensinar este assunto, *Mecânica Quântica*, é importante?

Laís: Sim, é válido, porque através da leitura podemos entrar no *País do Quantum*, no mundo do imaginário e percorrer com Alice este mundo "maravilhoso".

L. Você acha que deve mudar, acrescentar ou tirar alguma coisa?

Laís: Acho que está bom, dá para entender.

L. O autor usou o livro *Alice no País das Maravilhas* como base. Você acha que há relação?

Laís: Deu para entender, o livro foi bastante claro.

L. Você quer fazer mais algum comentário?

Laís: Foi uma leitura interessante, no começo fiquei com medo de ler, mas depois a gente vai se envolvendo, é como a Alice, vai entrando no mundo e vai se identificando com algumas coisas e dá para entender bem.

2.4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ENTREVISTA

Logo na primeira pergunta, a resposta de Laís mostra o receio pelo livro paradidático, que foi herdado do livro didático. É o receio pelo desconhecido que gera o medo, mas quando se está aberto às mudanças gera prazer.

Na segunda pergunta Laís responde: “Em certas partes tive dificuldades foi difícil de entender, então tive que ler mais uma vez”.



Com esta resposta ela propõe que o ato de ler não se resume em apenas uma simples leitura, é necessário reler. O contexto facilita, pois com este primeiro contato com o assunto ela está aberta ao novo.

Em outras respostas, ela diz que o uso do livro é um bom recurso para a aprendizagem, entretanto o professor, com o seu conhecimento, deve estar sempre presente para orientar, sanar as dúvidas e aprofundar os novos estudos.

Laís usa de conceitos de analogia e de metáfora, pois já estudou este assunto em Língua Portuguesa, e já sabe empregá-los. O uso do livro paradidático foi útil para ela, pois foi através dele que conheceu o assunto Mecânica Quântica.

2.5 ENTREVISTA DE GLACI MARIANA

Laura: Qual foi a primeira impressão que você teve do livro?

Glaci: A primeira impressão foi que talvez seria uma matéria muito difícil para entender. Como o livro *Alice no País do Quantum* foi inspirado no livro *Alice no País das Maravilhas*, achei que não seria interessante, mas é muito interessante sim. A linguagem fácil para entender e o livro é agradável para ler. Como a gente vai usar esta matéria mais para frente, é sempre bom ter base, para depois entender melhor.



L. Você sentiu dificuldades, de um modo geral, enquanto lia o livro?

G. Em algumas partes tive dificuldades, mas depois voltei a ler e entendi o que tinha sido difícil entender numa primeira leitura.

L. Você já tinha ouvido falar sobre este assunto?

G. Já tinha ouvido falar, mas não me interessei muito, dei uma olhada, tentado estudar alguma coisa, mas ficou só nisso.

L. Você acha que este assunto teria condições de ser ensinado no Ensino Médio?

G. Acho que sim, este livro é bom, faz uso de analogias e metáforas, assunto que já estudei em Língua Portuguesa, então foi mais fácil de entender. Se os professores usassem bastantes analogias nas salas de aula, seria mais fácil para os alunos entenderem. Acredito que os alunos não teriam dificuldades se tudo fosse bem explicado.

L. O que você acha do uso deste recurso: as analogias?

G. Foi válido, facilita a aprendizagem, parece que quando lemos um assunto que é tão difícil como Mecânica Quântica dificilmente aprenderemos, mas através dos recursos usados pelo autor ficou mais fácil compreender esta matéria.

L. No livro, onde você identificou o uso de analogias e de metáforas?



G. No primeiro capítulo quando se fala dos spins para cima, foi interessante o uso desses recursos. Na parte de conservação de energia cinética o autor usou o exemplo da montanha russa, que é uma metáfora.

L. Sobre as partículas de que se fala no livro, o que você entendeu?

G. Nós já tínhamos o conceito de elétron. O autor fala de pósitron, também, e explica que é o inverso de elétron. Há a metáfora do “banco que empresta”, dá para entender bem. Quanto às partículas, ficou claro, quanto maior a massa, maior a quantidade de energia que se necessita.

L. Quais conceitos você não conhecia e com a leitura do livro você começou a entender?

G. Sobre partículas mesmo, a gente tinha ouvido falar, mas não conhecia os conceitos corretos. Após a leitura deu para aprofundar mais. A parte que fala sobre flutuação quântica não entendi muito bem, mas a parte dos spins, que a gente não sabia, foi fácil para entender.

L. O que você acha do uso desse livro paradidático para ensinar este assunto?

G. Como gostei do livro creio pode ser usado e o assunto ficará mais claro, porque o livro é interessante e desperta o gosto pela leitura. Quando a gente começa a ler não quer mais parar, quer ver o final.



L. O que você sugere quanto ao uso desse livro e qual a maneira para que seja usado?

G. Para alguns alunos não vai ser fácil entender, porque ele enrola um pouco em certas partes. Acho que seria legal o professor fazer a leitura junto com os alunos em sala de aula. Pede para que se leia um capítulo, e em classe explica este capítulo, o que acontece o que não acontece. Isto ajuda bastante.

L. Você sugere isto?

G. Sim, porque a explicação do professor sempre esclarece as dúvidas. Quando o professor explica, normalmente, mais de um aluno questionando e isto esclarece a aprendizagem.

L. Você entendeu a parte sobre a igualdade dos elétrons?

G. Sim, entendi. A explicação do autor foi muito convincente.

L. Você já leu *Alice no País das Maravilhas*?

G. Já, e também assisti ao filme.

L. Quanto à estrutura do livro, a maneira como foram colocados os assuntos, o que você achou?



G. Acho que o livro está bem estruturado e os assuntos estão dispostos de maneira que auxiliem a aprendizagem.

L. Quanto às analogias feitas pelo autor, o que você achou? Foi válido?

G. Foi, porque ele fala que não pode haver dois elétrons com o mesmo spin, no mesmo vagão, no entanto; a personagem pode entrar em qualquer vagão porque não é um elétron, não tem spin. A metáfora do guarda-chuva, que ele usou, esclareceu bem o que é spin para cima e spin para baixo.

L. De modo geral, o que você tem a falar sobre a leitura desse livro?

G. A leitura do livro é válida, é bom para o aprendizado, lendo aprende-se bastante. Quando a gente não entende alguma parte deve lê-la novamente. Aquilo que no início você não entende, relendo fica mais fácil esclarecer as dúvidas. Acho que a leitura desse livro esclarece muitos conceitos que ficam “no ar”, quando lemos alguma coisa sobre Física Quântica.

2.5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ENTREVISTA

Na entrevista da aluna, observamos que mais uma vez o contato com o novo provoca receio. Entretanto, quando se inicia a leitura e se toma contato com a estratégia do autor, o medo desaparece.



Observa-se pelas respostas que a aluna tem interesse pelo novo e que a releitura é um fator muito importante para que haja aprendizagem. Muitas vezes uma simples leitura não dá para assimilar os conceitos novos.

O uso de analogias e metáforas em sala de aula é sugerido pela aluna, mas frisa que este recurso deve ser “bem explicado”, para que todos possam entender, pois se trata de uma linguagem metafórica e muitos alunos têm dificuldade de fazer abstrações.

Para ela o entendimento usando o modelo analógico foi excelente, criou mais condições para que entendesse os conceitos e pudesse, posteriormente, passá-los aos amigos.

Quanto ao uso do livro como uma estratégia para a aprendizagem, ela mostra que nem todos entenderiam se o lessem sozinhos, mas se fosse lido em classe, como o professor explicando as dificuldades, a leitura seria facilitada, reforçando a importância do professor como mediador.

3 ANÁLISE DAS REDAÇÕES

Sugeriu-se aos alunos que participaram deste trabalho que redigissem uma redação com o título: *Uma nova turma irá ler o livro Alice no País do Quantum. O que você tem a dizer sobre ele?*



3.1 REDAÇÃO- YNAIARA

ALICE NO PAÍS DO QUANTUM

O livro *Alice no País do Quantum* relata a história da personagem Alice de maneira diferente. Ela dorme, viaja para dentro da televisão e se encontra no mundo da Física Quântica.

Digamos que quase todo mundo já tenha lido *Alice no País das Maravilhas* quando pequeno.

Alice no País do Quantum foi uma forma muito inteligente de unir o útil ao agradável. A linguagem do livro é muito boa, de fácil compreensão. Mas em alguns pontos deixa a desejar, por isso é indispensável já ter uma base sobre esse assunto para sua total compreensão.

O livro relaciona a Física Quântica com situações do dia a dia, o que facilita muito o aprendizado e atrai a atenção dos leitores que, muitas vezes, não têm conhecimento prévio sobre o assunto.

Alice no País do Quantum é uma forma divertida, moderna e inteligente de se aprender a Física Quântica.



3.1.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDAÇÃO

Ynaiara tem disponibilidade para compreensão da linguagem utilizada no livro. É uma jovem que se dispõe a aprender através do livro paradidático. Admite que a leitura deve se acompanhar de um embasamento teórico, para que haja melhor compreensão.

Sabe-se que os jovens não são muito voltados para a leitura na atualidade, por isso o professor deve aguçar-lhes a curiosidade através de estratégias, tais como: ler um capítulo na classe, pedir para que discutam, deixar alguns tópicos para serem discutidos em grupo para posterior apresentação dos resultados obtidos.

3.2 REDAÇÃO - BRUNA CRISTINA

ALICE NO PAÍS DO QUANTUM

O livro, inspirado na obra *Alice no País das Maravilhas*, ensina de modo surpreendente conceitos importantes de Física Quântica.

A linguagem escolhida e utilizada pelo autor consegue expressar com clareza todos os passos dessa matéria tão complicada. Explica de modo objetivo e direto vários tópicos desconhecidos pela maioria dos alunos.



O livro é baseado em um conto muito conhecido pelas crianças, *Alice no País das Maravilhas*, tornando a dinâmica do livro muito apreciada por todos os que o lêem.

Em algumas partes o livro não consegue prender totalmente a atenção do leitor, pois, em alguns pontos deixa situações vagas. É justamente nesses pontos que ele deveria ser mais espontâneo.

Indico o livro a todas as pessoas que se interessam por esse tipo de leitura, e as que não gostam, com certeza, irão começar a se interessar.

Particularmente, adorei o livro e já o recomendei a vários amigos e conhecidos, pois, realmente é fantástico.

Concluindo, acho que os professores deveriam usar, sempre que possível, os livros paradidáticos como ferramentas para a aprendizagem, pois além de ensinarem conceitos específicos, ajudam a treinar a leitura, a interpretação e a produção de textos, como está ocorrendo neste trabalho em que estou opinando.

3.2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDAÇÃO

Para Bruna o livro deixa algumas situações vagas e que neste ponto o auxílio do professor é indispensável, pois este é quem conhece melhor o assunto, tem mais facilidade para esclarecer as dúvidas.



3.3 REDAÇÃO - LAIS EMANUELA

ALICE NO PAÍS DO QUANTUM

Se você acha que, às vezes, é difícil entender conceitos sobre os *quantum* e que guardar esses conceitos é um pouco chato, mas como eu, você até que gostaria de entendê-los só que de uma forma legal digo-lhe *Alice no País do Quantum* é a solução.

No primeiro instante que você ouve falar sobre um livro em que explica Física Quântica de uma maneira legal você acha isso meio impossível, não é? Foi assim que eu também pensei.

Até achei que fosse mais um livro, um livro comum, com todas aquelas fórmulas e contas, que aluno nenhum consegue entender. E as palavras? Nem se fala! Para se ler é necessário estar com um volumoso dicionário ao lado para conseguir entender.

Foi justamente nisso que o autor pensou, ele aproveitou as aventuras do livro *Alice no País das Maravilhas* para contar as aventuras de *Alice no País do Quantum*. Um assunto que parecia inexplicável consegue ser fácil de entender.

Você vai perceber que não é impossível conseguir aprender alguns conceitos de Física Quântica, pois o autor explica todos os princípios sem complicar muito a nossa cabeça.



O livro faz você entender porque elétrons com o mesmo spin não podem ficar juntos e muitos outros conceitos de um jeito que a gente aprende rápido e que não precisa ficar decorando.

Se você quer conhecer e entender Física Quântica a melhor solução talvez seja ler *Alice no País do Quantum*.

3.3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDAÇÃO

A aluna deixa claro o que o jovem acha do livro didático. Classifica-o como chato, cheio de fórmulas e de difícil compreensão. Uma observação importante para que os professores repensem sobre os conteúdos a serem ministrados.

Para aprender conceitos novos, o recurso do livro paradidático relacionado com o cotidiano ou com o ficcional é uma estratégia que o jovem aceita e não há barreiras para o uso.

3.4 REDAÇÃO-GLACI MARIANA

ALICE NO PAÍS DO QUANTUM

O livro *Alice no País do Quantum* foi inspirado em outro livro: *Alice no País das Maravilhas*. Foi feito para tentar levar pessoas a entenderem melhor Física Quântica.

O livro *Alice no País do Quantum* conta uma história cuja protagonista é uma menina chamada Alice, que entra em um mundo novo e diferente. Lá descobre as maravilhas da Física Quântica.

No livro são usadas muitas analogias de fácil compreensão, que com apenas um pouco de atenção fica fácil para entendê-las.

A leitura deste livro certamente irá ajudar bastante os estudantes, já que a Física Quântica é uma matéria usada durante a vida escolar. Fora da escola a Física Quântica também é muito utilizada em coisas do nosso uso diário.

Com a leitura do livro você poderá entrar com *Alice no País do Quantum*, aprenderá, sem decorar fórmulas, os conceitos mais importantes da atualidade relacionados à Mecânica Quântica, um dos ramos da Física.

Leia, e você verá que ler é um prazer, é um entretenimento agradável, sem contar que você aprenderá muito!



3.4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDAÇÃO

A aluna analisa as analogias presentes no texto. Difere dos demais leitores. Tanto na entrevista, quanto na redação, deixam claro que o uso de analogias é um bom método para se aprender novos assuntos.

A necessidade de relacionar a ciência ao cotidiano é uma constante em seu pronunciamento. Vê-se, portanto, a necessidade de se contextualizar todos os conceitos, pois sem contextualização os assuntos ficam vagos, imprecisos.

3.5 REDAÇÃO-WILLIAM

ALICE NO PAÍS DO QUANTUM

No começo o livro parecia ser chato, que iria falar só sobre fórmulas com explicações difíceis. Mas, depois que comecei a ler, passou a ser interessante. Mostra com uma linguagem fácil e divertidos temas importantes da Física Quântica. Se fosse escrito de maneira científica talvez não fosse tão interessante.

Envolvendo a fantasia com a realidade, o autor nos prende a atenção, é como "aprender brincando". É interessante como o autor explica o

"spin", ele diz que os elétrons não podem ter o mesmo spin, no mesmo vagão. Como são sempre os mesmos, todos conhecem Alice.

Ao associar as chances de probabilidade, com o elétron tentando ultrapassar a barreira, no caso a porta, como o caso do coelho da história de *Alice no País das Maravilhas*.

Para você que acha que todos os livros de Física Quântica têm um conceito difícil, leia *Alice no País do Quantum*, e aprenda de uma maneira nova e fácil.

3.5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDAÇÃO

Nota-se, novamente, o receio de que os livros que tratam de assuntos científicos são chatos e de difícil entendimento. Com “pré-disposição” para a leitura, as noções foram mudando.

A opção para se estudar Química, Física, Biologia através de livros paradidáticos foi sugerida não só por este aluno, mas também por outros.



3.6 REDAÇÃO-PATRÍCIA

ALICE NO PAÍS DO QUANTUM

Meus caros colegas

Alice no país do Quantum é um livro interessante, porém muito difícil. Se esse livro for adotado para leitura obrigatória seria muito desagradável. A maioria dos alunos não teria o interesse pela leitura de um livro cheio de conceitos.

Quando li este livro tive um pouco de dificuldade com o desenvolvimento dos conteúdos. Ele tenta exemplificar e explicar de diversas maneiras os conceitos de Física Quântica, através de uma linguagem metafórica para atrair a atenção dos jovens leitores.

Como tenho dificuldades para entender Química, Física, se dependesse do livro para eu aprender algo mais profundo sobre Mecânica Quântica, acho que não me sairia bem.

Química já é um assunto chato, mesmo sendo explicado pelo professor, imagina você tiver de ler sozinho, ficaria bem pior.

Pessoalmente não acho interessante que esse livro seja usado no Ensino Médio ou Fundamental. Se o aluno tiver de lê-lo sozinho talvez deva ser lido em cursos intermediários.



Mas para quem gosta de ler sobre assuntos diferentes e mundos distantes é um prato cheio. Sugiro, portanto, a leitura para os curiosos.

3.6.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REDAÇÃO

A redação de Patrícia mostra a aversão que tem por qualquer tipo de leitura. Como, atualmente, cursa a 3ª série do Ensino Médio e não desenvolveu o hábito de leitura dificilmente lerá por prazer. Se ler será para cumprir tarefas, pois acha a leitura enfadonha.

Como esta aluna, há muitos alunos que não vêem na leitura um prazer, daí a necessidade de se utilizar os livros paradidáticos que tratem de assuntos científicos, de maneira clara, desmistificando a ciência como algo de difícil entendimento.

Para esta aluna, o a compreensão do livro foi grande, pois o plano científico se sobrepôs ao literário.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A interdisciplinaridade é a interação com duas ou mais disciplinas, ou até a integração mútua dos conceitos da epistemologia, dos procedimentos, dos dados e da organização da pesquisa, optou-se neste trabalho pela abordagem interdisciplinar e intertextual.

Mais que um meio de se conhecer os problemas da leitura, usou-se a interdisciplinaridade para que o produto do trabalho não fosse uma leitura silenciosa, mas uma dinâmica argumentativa sobre os aspectos relevantes dos textos. Os pontos obscuros foram discutidos e passaram a ter significação para que houvesse compreensão total dos temas estudados.

A leitura do livro, as entrevistas e as redações mostraram que os alunos têm capacidade de entender os conceitos de Mecânica Quântica e que os professores, às vezes, subestimam esta capacidade. Sempre que necessário deve-se mudar as estratégias de ensino, e o papel do professor, junto aos jovens, é de agente mediador deste processo, propondo desafios e auxiliando a resolvê-los.

Isto fica claro e pode ser observado nas entrevistas com os alunos, pois eles sugerem que o professor leia o livro paradidático com a classe toda. Nota-se, nas entrevistas, que os alunos sugerem estratégias de ensino e questionam por que não se usam analogias em sala de aula, pois o aluno do ensino médio tem condições, com o auxílio do livro paradidático com suas analogias e metáforas desencadear o processo de aprendizagem da Mecânica Quântica.



Os alunos – leitores de *Alice no País do Quantum* mostraram que Mecânica Quântica é um tema a ser ensinado no Ensino Médio, pois o livro com suas analogias é uma ferramenta para que este estudo ocorra sem que haja prejuízos, tanto no conteúdo a ser ministrado quanto na avaliação final, pois o estudo será feito de forma prazerosa e trará benefícios, para os alunos que aprenderão um assunto atual e para os professores, que ensinarão Física Quântica uma oportunidade de refletir sobre essa questão.

No final, quando as redações estavam sendo entregues, alguns alunos que não participaram do projeto pediram para ler o livro. Isto foi além das expectativas, pois, tradicionalmente, o assunto é considerado difícil e julga-se que o jovem não gosta de ler.

Para a introdução dessas práticas, não existem fórmulas prontas. É necessário que haja um processo contínuo de reflexão, de investigação e a presença de um diálogo constante, obtendo assim avanços nos processos de ensino e aprendizagem.

O estudo mostra que a linguagem metafórica é essencial na aprendizagem de conceitos em Física Moderna. No livro *Alice no País do Quantum*, o autor consegue desenvolver conceitos de Mecânica Quântica em uma linguagem *fabular* acessível aos alunos de Ensino Médio, como se pode verificar nas entrevistas e nas redações.

O estudo também oportunizou a formação de novos grupos de leitura. Alguns manifestaram interesse e já estão lendo o livro sugerido, porque

ficaram curiosos ao ouvirem as “conversas” entre o professor e os leitores. Os alunos – leitores chamaram a atenção dos demais que se dispuseram a ler o livro e participar de grupos de estudos no próximo semestre.

As conclusões finais levam a dedução de que a leitura do livro *Alice no País do Quantum* propiciou aos alunos um contato inicial com os conceitos não familiares de Física Moderna. O conhecimento de Física na escola média ganhou novo sentido com as diretrizes dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) (BRASIL, 2002), pois a Física tem papel fundamental na formação do cidadão contemporâneo, que sendo solidário e atuante é capaz de intervir na realidade. Conhecer temas de Física Moderna faz parte de reflexões que precisam ocorrer nas escolas atuais.

Verificou-se também que grande número de livros didáticos utiliza metáforas no desenvolvimento de conceitos e vários trabalhos indicam a importância da inserção de conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio, incluindo os PCNEM.

Como não existem fórmulas miraculosas, sugere-se que ao se estudar Mecânica Quântica no Ensino Médio, se inicie utilizando um livro paradidático, e pela análise dos dados o professor tem um papel importante, como mediador para a aproximação com o conceito científico e como facilitador da aprendizagem. O que se observa, pela prática da autora, é que há um “pré-conceito” de que o aluno não é capaz de entender conceitos não comuns e que por isso continuam as metodologias ultrapassadas.



As escolas estão repletas de diferentes livros paradidáticos, de diferentes assuntos. Urge que os professores explorem estes recursos com os alunos e os estimulem a lerem freqüentemente. A função primordial do professor como mediador é a motivação, isto quer dizer que ele deve conhecer como deve organizar e dirigir situações de aprendizagem, envolver os alunos em seus trabalhos, apresentar novas tecnologias, ensinar a enfrentar deveres e dilemas éticos.

Para Vygotsky a escola deve dirigir o ensino para estágios de desenvolvimento ainda não alcançados pelos alunos e dessa forma o livro paradidático é o incentivo para ensinar um assunto novo que é a Mecânica Quântica, onde o ponto de partida é o conhecimento real do indivíduo e o ponto de chegada são os conhecimentos introdutórios de Mecânica Quântica e o professor tem o papel de interferir neste ponto que é a zona de desenvolvimento proximal, provocando os avanços com o auxílio do livro paradidático com suas analogias e metáforas, que não ocorreriam espontaneamente.

Vygotsky relaciona pensamento e linguagem e o significado é um componente essencial da palavra. O significado permite a comunicação entre os usuários da língua. A preocupação com o desenvolvimento do homem está presente em toda a sua obra, além de enfatizar a importância dos processos de aprendizagem. O processo de aprendizado só vai ocorrer em ambientes em que é permitido. Daí a relação entre Vygotsky e o ensino de Mecânica Quântica, o aluno só irá aprender se o ambiente for propício, e oferecer condições para isto.

O trabalho reflete a teoria de Vygotsky, sobre o papel do professor como mediador do conhecimento, pois é fundamental que fique claro que três elementos são fundamentais no processo de ensino aprendizagem: o aluno, o objeto do conhecimento e o professor que deve ter uma atitude crítico-reflexiva, porque trabalha em parceria com os alunos na construção cooperativa do conhecimento, promove a fala e o questionamento e considera o conhecimento sobre a realidade, que o aluno traz, para construir um saber científico que continue a ter significado. Para tanto, é preciso desafiar os alunos ao nível de pensamento superior ao trabalhado, no treinamento de habilidades e incitá-los a aprender. As ações do professor são para despertar a curiosidade, a dúvida, a pergunta, a investigação e a criação, em um ambiente em que, além de ensinar, o professor aprende, e o aluno, além de aprender, ensina.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, M. C. **BOHR- O arquiteto do átomo**. 1.ed. São Paulo: Odysseus Editora Ltda, 2002.

ANDRÉS, M. M. El Interés Hacia La Física: Un estudio com participantes de la Olimpiada Venezolana de física. **Enseñanza de Las Ciencias**, Barcelona, v.18, n.2, p. 311 - 318, junho, 2000.

AZEREDO, A. B. **A compreensão do texto didático em Ciências**. 1982.190p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1982.

BATISTA, I.L. A inserção de conceitos quânticos - relativísticos na formação de professores para o ensino médio, In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 15, 2003, Curitiba. **Resumos**, 2003, p.109.

BENJAMIN, A. A. **Análise do uso de um livro paradidático sobre energia e meio ambiente**. 2000.184p. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2000.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica - Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002. 144 p.

CACHAPUZ, A.F. Linguagem Metafórica e o Ensino de Ciências. **Revista Portuguesa de Educação**, Universidade do Minho, v.2, n.3, p.117-129, 1989.



----- . Pensar analogias/ Metáforas: Da necessidade epistemológica à mudança no ensino das Ciências. In: Encontro de Didáticas e Metodologias da Educação, 3, 1995, Universidade do Minho/Portugal. **Atas**.1995. p.157-163.

CANOLLA, C. As metáforas da produção: Reflexões sobre o discurso de operárias. **Delta**, 2000, v.16, n.1, São Paulo. Disponível em < www.scielo.br>. Acesso em: 20 dez.2002.

CAT, J. One Understanding: Maxwell on the Methods of Illustration and Scientific Metaphor. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, v.32, n.3, p.395-441, 2001.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C.R. Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no Ensino Médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.18, n.3, p. 298-316, dezembro, 2001.

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

FISCHLER, H. Introduction to Quantum Physics - development and evaluation of a new course, In: Paper presented at the annual meeting National Association for Research in Science Teaching, p.32 – 40, March, 1999.

FREIRE Jr., O.; CARVALHO NETTO, R.A. **O Universo dos quanta**: Uma breve história da Física Moderna. 1.ed. São Paulo: FTD, 1997.

GILMORE, R. **Alice no país do quantum**.Rio de Janeiro: Jorge Zahar editor, 1998.

GIL-PEREZ, D. Que hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? (Intento de síntesis de las aportaciones de la investigación didáctica). **Enseñanza de Las Ciências**,v.9,n.1,p.69-77,1991.



GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Uma Revisão da Literatura sobre Estudos Relativos ao Ensino da Mecânica Quântica Introdutória. *Investigações em Ensino de Ciências*, V.6; n.º 1, 2000. Disponível em: < www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol.6/n1 > Acesso em: 30 out. 2001.

HURWITZ, C.L.; ABEGG, G.; GARIT, P.; NASR, R.; High School Students understanding of the quantum basis of chemistry. Disponível em: < www.bu.edu/smed/gsad/ > Acesso em: 24 out. 2001.

KRAPAS, S.; BORGES, A. M. Decaimento Radioativo: Uma analogia para o circuito RC. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.15, n.1, p.47-58, abril, 1998.

LAKOFF, G.; JOHNSON, M. **Metáforas da vida cotidiana**. Tradução de Mara Sophia Zanotto. 1.ed. São Paulo: EDUC – Editora da Puc-SP e Mercado das Letras, 2002.

LOPES, E. **Metáfora (da retórica à semiótica)**. 1.ed. São Paulo: Atual Editora, 1986.

MARTÍNEZ, M.A.; SAULEDA, N.; HUBER, G.L.. Metaphors as blueprints of thinking about teaching and learning. **Teaching and Teacher Education**. v.17, p.965 – 977, 2001

MARTINS, S. T. F. Educação científica e atividade grupal na perspectiva sócio-histórica. **Revista Ciência e Educação**, v.8, n.2, p.227-235, 2002.

MCQUARRIE, D.A. **Quantum Chemistry**. University Science Books. Califórnia: Mill Valley, 1983.

MASHHADI, A. Student's conceptions of quantum physics. In: WELFORD G. et al. (Eds:) *Research in science education in Europe*, London: The Falmer Press, 1996. p. 254 - 265.



NASCIMENTO, A .C. & CACHAPUZ, A .C.. Linguagem e construção do conhecimento didático: Metáforas e analogias no ensino e aprendizagem do tema equilíbrio químico- 10º ano de escolaridade. In: Encontro Nacional de Educação em Ciência, 8, Departamento de Ciências da Educação da Universidade de Açores. p.195-210, 2001.

OSTERMANN, F., MOREIRA, M.A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Investigações em Ensino de Ciência, v.5, n.1, 2000. Disponível em:<www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n.1 > Acesso em: 30 out. 2001.

OSTERMANN, F. ; CAVALCANTE, C. Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Elaboração de material didático, em forma de Pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.16, n.3, p.267-286, dezembro, 1999.

PINO, A. Ensinar-aprender em situação escolar. Perspectiva histórica - cultural. Disponível em:< www.lite.fae.unicamp.br/sapiens/ensinar.htm > . Acesso em: 02 dez 2002.

PINTO, A.C.; ZANETIC, J. É possível levar a Física Quântica para o ensino Médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.16, n.1, p.7-34, abril, 1999.

RABONI, P. C. A . Textos no ensino de Física do Segundo Grau: um relato. **Caderno Cedes**, ano XVIII, n. 41, p.87-90, julho, 1997.

ROBBLEE, K. M.; GARIK, P.; ABEGG, G. Using Computer Visualization, software to teach quantum science: the impact on pedagogical content Knowledge. Disponível em: www.bu.edu/smed/gsad/ . Acesso em: 24 out 2001.

ROCCO, M.T.F. A importância da leitura na sociedade contemporânea e o papel da escola nesse contexto. **Série Idéias- FDE**. n.13, p.37-42, São Paulo, 1994.



ROBILOTTA, M. R. e BABICHAK, C. C. Definições e conceitos em Física. **Caderno Cedes**, ano XVIII, n.41, p.35-45, julho, 1997.

ROMANELLI, L. I. **Concepções do professor sobre seu papel mediador na construção do conhecimento do conceito de átomo**. 1992. 226p. Tese (Doutorado em Educação)- Universidade de Campinas. Faculdade de Educação, Campinas, 1992.

SILVA, H. C. O uso de textos e apresentações do professor de física. **Caderno Cedes**, ano XVIII, n.41, p.69-78, julho, 1997.

STOFFLETT, R. T. Metaphor development by secondary teachers enrolled in graduate teacher education. **Teaching & Teacher Education**, v.12, n.6, 577-589, 1996.

TERRAZZAN, E.A. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na escola de segundo grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.9, n.3, p. 209-214, dezembro, 1992.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem**. São Paulo: Livraria Martins Fontes Ltda, 1991.

----- **A formação social da mente**. São Paulo: Livraria Martins Fontes Ltda, 1996.

ZANETIC, J. Física e literatura: uma possível integração no ensino. **Caderno Cedes**, ano XVIII, n.41, p.46-61, 1997.

ZOLLMAN, D.; EULER, M.; HANSELMANN, M. J.; MÜLLER, A. Student's Views of Models and concepts in Modern Physics. In Research on Teaching and learning quantum mechanics, Paper present at the annual Meeting National Association for Research in Science Teaching, 1999.



Autorizo a reprodução deste trabalho.

Bauru, 31 de julho de 2003.

LAURA APARECIDA DOS SANTOS NEVES



